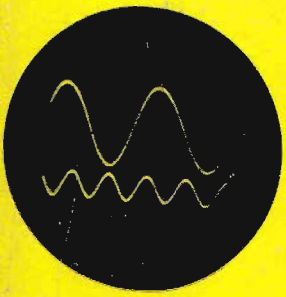
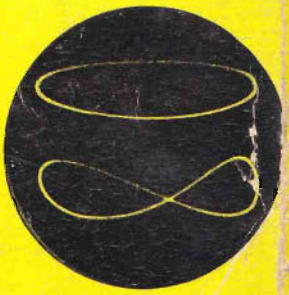
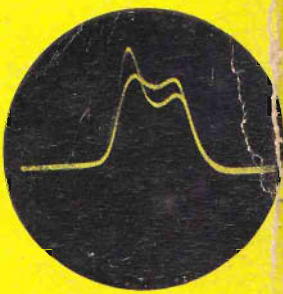
L. HINTZBERGEN

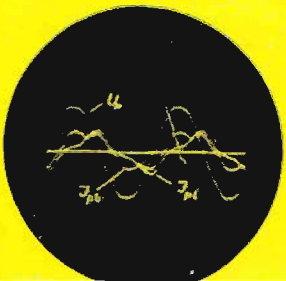
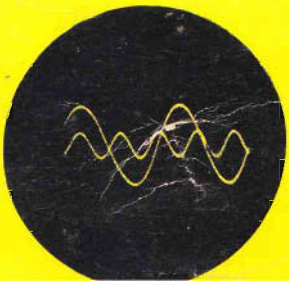
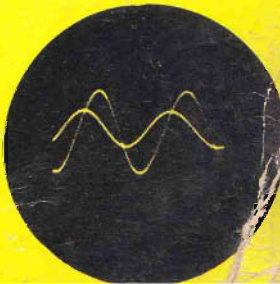
L'OSCILLOSCOPIO

E LE SUE APPLICAZIONI



EDIZIONI DI SCIENZE E ARTI
MILANO

EDIZIONI DI SCIENZE E ARTI

LIBRERIA CORTICELLI

Serie TECNICA N. 1

CONTIENE:

INTRODUZIONE	Pag.	9
COSTRUZIONE DELL'OSCILLOGRAFO	»	13
100 ESPERIENZE CON L'OSCILLOGRAFO	»	41
APPLICAZIONI PRATICHE DEL COMMUTATORE ELETTRONICO	»	111

L'OSCILLOSCOPIO
E LE SUE APPLICAZIONI

Costruzione dell'oscillografo
100 esperienze su l'oscillografo - Applicazioni pratiche
del commutatore elettronico

EDIZIONI DI SCIENZE E ARTI
MILANO - LIBRERIA CORTICELLI - 1955

Titolo originale: L'OSCILLOSCOPE ET SES APPLICATIONS
La traduzione italiana è del Prof. Edoardo De Giorgis

L'opera fa parte della Biblioteca Tecnica Philips della
N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken - Eindhoven

I diritti sono riservati per tutti i Paesi, compresa l'U. R. S. S.

Stampato in Italia dalla Tipografia La Varesina Grafica - Varese

L'OSCILLOSCOPIO E LE SUE APPLICAZIONI

INTRODUZIONE

L'oscilloscopio a raggi elettronici è uno degli strumenti di misura più universali che esistano. Il numero di applicazioni di questo apparecchio è praticamente illimitato.

Se in altri tempi, l'oscillografo fu considerato come uno strumento di laboratorio, tutt'altra cosa ne è presentemente.

Grazie al progresso della tecnica ed ai nuovi apparecchi ausiliari, l'oscillografo ha trovato il suo posto anche nell'industria, ed è ora l'ausiliario quasi indispensabile in tutte le moderne industrie. Questo apparecchio di misura, non soltanto può sostituirne molti altri, ma indubbiamente, senza il suo aiuto, numerose macchine ed attrezzature non si sarebbero potute realizzare.

I suoi grandi vantaggi sono:

1) La elevatissima sensibilità ottenuta grazie all'impiego dei moderni tubi elettronici.
2) Il funzionamento quasi privo di inerzia.
3) La possibilità di costruire gli apparecchi molto solidamente, ciò che consente loro di resistere agli urti ed alle vibrazioni del trasporto, molto meglio degli apparecchi elettro-meccanici (per esempio, i galvanometri).
4) La debole carica dell'oggetto da misurare.
5) La possibilità di misura delle grandezze a distanza.
6) La possibilità di vedere i fenomeni misurati.

Grazie a questa possibilità si possono studiare i fenomeni meglio che in qualunque altro modo.

Tutti questi vantaggi sono dovuti ai rapidi progressi della tecnica della radio, progressi che furono largamente messi a profitto nell'oscillografo.

Consideriamo un po' più da presso i vantaggi sopra citati.

1) La sensibilità. Grazie alla tecnica degli amplificatori, si può spingere questa sensibilità molto lontano. Questa possibilità è essenziale poichè tutte le variabili fisiche che devono essere tradotte in tensioni elettriche possono avere valori troppo deboli per ottenere sullo schermo dell'oscillografo una immagine di dimensioni sufficienti.
2) L'assenza di inerzia. L'inerzia dell'oscillografo e degli apparecchi elettroni-

ci in generale, è di tutt'altro ordine che non l'inerzia dei sistemi meccanici. Senza difficoltà si possono osservare vibrazioni ed altri fenomeni aventi frequenza di parecchie centinaia di migliaia di periodi al secondo. Le difficoltà appaiono soltanto quando il fenomeno ha una durata inferiore a 0,1 microsecondo. La ragione sta nella sensibilità che è legata al principio fisico del tubo a raggi elettronici.

3) La robustezza meccanica. È chiaro che uno strumento elettronico quale l'oscillografo, può essere costruito in modo ben più robusto che non l'apparecchiatura elettromeccanica. Ciò significa che è possibile la sua utilizzazione, senza restrizione, nelle officine, negli opifici, ecc. Un galvanometro per esempio, può, con molta precauzione, essere usato in laboratorio, ma non è pensabile il suo impiego in una officina.

4) La carica dell'oggetto da misurare è praticamente nulla poichè la energia che aziona l'oscillografo proviene dagli amplificatori ed è quindi fornita dalla rete L'oggetto da misurare non deve fornire che l'energia necessaria per comandare gli amplificatori, e questa energia è debolissima.

5) Le misure a distanza con l'oscillografo sono semplicissime in virtù della possibilità di trasmettere semplicemente delle tensioni elettriche.

6) La possibilità di vedere qualunque specie di fenomeni.

È questa la caratteristica essenziale dell'oscillografo. Essa ci consente di penetrare più profondamente nella natura stessa di numerosi fenomeni. La deviazione di un voltometro o di un amperometro non ci indica che la grandezza. Con un oscillografo invece noi vediamo sullo schermo una riproduzione fedele del fenomeno in funzione del tempo.

Grazie a tutti questi vantaggi, l'oscillografo ha trovato il suo posto, con o senza apparecchiatura ausiliaria, in numerose industrie, non soltanto elettriche, ma anche meccaniche, navali, e nel dominio della medicina, della chimica, della biologia, ecc.

Negli oscillografi moderni sono incorporati i comuni apparecchi ausiliari quali gli amplificatori la base del tempo, ecc.

In conseguenza di ciò, ed in seguito alle svariatissime applicazioni nell'industria, si è realizzata una completa apparecchiatura, semplice e poco costosa. Il prezzo dell'oscillografo si è anche potuto ridurre attraverso una fabbricazione in grande serie.

Poichè un tale apparecchio rappresenta un capitale investito per migliorare, semplificare o accelerare la produzione, esso deve essere in primo luogo di funzionamento sicuro e deve poter essere riparato rapidamente e facilmente.

La presente opera si propone di descrivere il funzionamento dell'oscillografo moderno e le sue applicazioni, illustrate da numerosi esempi e da montaggi di misura.

COSTRUZIONE DELL'OSCILLOGRAFO

Descriveremo successivamente i differenti elementi dell'oscillografo ed il loro funzionamento.

Il tubo a raggi elettronici.

Se consideriamo un oscillografo, notiamo immediatamente lo schermo del tubo a raggi elettronici; è la superfice sulla quale sono proiettati i fenomeni che desideriamo osservare.

Sebbene esistano differenti tipi di tubi a raggi elettronici: tubi a riempimento gassoso, tubi nei quali si deve praticare il vuoto ad utilizzazione effettuata, tubi a focalizzazione magnetica del fascio, ecc., negli oscillografi moderni si utilizzano quasi esclusivamente dei tubi a raggi elettronici a vuoto spinto, vuotati e sigillati in fabbrica. Esistono dei tubi in cui la deviazione si effettua per via elettromagnetica, ma più generalmente si utilizza la deviazione elettrostatica. La figura 1 rappresenta schematicamente un tale tubo mentre la figura 2 rappresenta l'interno di un moderno tubo a raggi elettronici.

La figura 3 riproduce più in dettaglio la disposizione degli elettrodi ed il percorso del fascio elettronico. Noi spiegheremo il fenomeno con l'aiuto di queste figure.

Il catodo k è a riscaldamento indiretto ed è completamente circondato dal cilindro di Wehnelt g. Lo si potrebbe anche chiamare griglia di comando del tubo in quanto compie la stessa funzione di un tubo radio normale.

L'anodo A (fig. 1) comprende due parti, a_1 e a_2 (fig. 3).

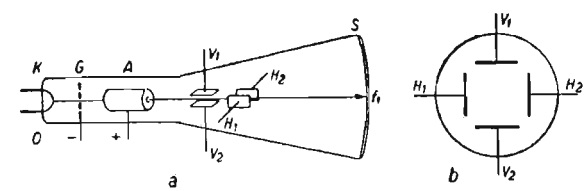


Fig. 1

Queste parti hanno sovente una forma più o meno complicata ed hanno il ruolo di un obbiettivo elettronico elettrostatico che concentra (focalizza)

il fascio elettronico divergente in modo che il fuoco cada esattamente sullo schermo S (fig. 1).

Lo schermo S è ricoperto sulla parte interna di uno strato fluorescente. Allorchè un fascio elettronico cade su questo schermo, questo si illumina nel punto colpito.

Nel tubo vi sono poi delle placche deflettrici, una coppia per la deviazione del fascio elettronico nella direzione verticale (V_1 e V_2) ed una coppia per la deviazione nella direzione orizzontale (H_1 e H_2). Vedi fig. 1.

Il catodo incandescente emette degli elettroni.

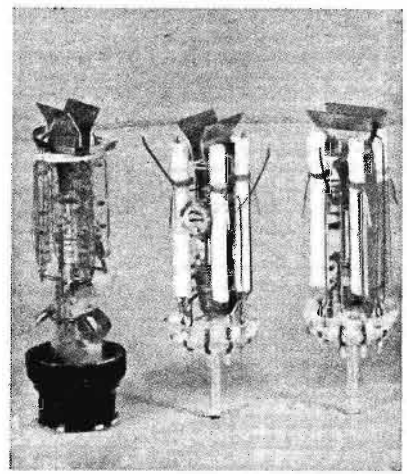


Fig. 2

Sul cilindro di Wehnelt g è applicata una tensione negativa rispetto al catodo. Questa tensione può variare fra —10 e —150 V. a seconda del tipo di tubo, e determina il numero di elettroni che possono passare, cioè l'intensità del fascio e quindi la lucentezza dell'immagine luminosa sullo schermo. In tal modo si può anche far completamente sparire l'immagine luminosa.

L'intensità del fascio dipende inoltre dalle tensioni applicate all'anodo. Come abbiamo detto, l'anodo A serve alla focalizzazione della tensione applicata (da 100 V a qualche centinaio di Volt).

Facendo variare questa tensione, si può regolare l'intensità luminosa dell'immagine.

Il secondo anodo a_2 (fig. 3) riceve una tensione positiva che può variare da qualche centinaio fino a migliaia di volta. Generalmente questa tensione non è variabile; essa produce una accelerazione del fascio elettronico. Più

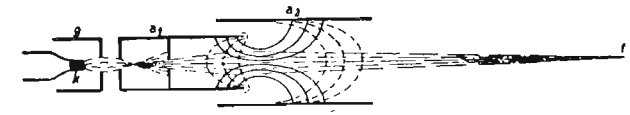


Fig. 3

elevata è questa tensione, maggiore è la velocità degli elettroni. In questo caso, gli elettroni urtano lo schermo fluorescente con una velocità più elevata e la lucentezza del punto luminoso risulta maggiore.

La velocità degli elettroni è legata alla tensione anodica da una semplice relazione.

Se V_a è la tensione anodica, v la velocità dell'elettrone, e la sua carica, ed m la sua massa, si ha:

$$e \cdot V_a = \tfrac{1}{2} m v^2 \quad \text{cioè} \quad v = \sqrt{\frac{2e}{m} V_a}$$

Per la velocità troviamo all'incirca:

$$v = 6000 \sqrt{V_a} \ \text{m/sec}$$

Essa è la velocità con la quale il fascio elettronico incontra lo strato fluorescente disteso sulla faccia interna dello schermo del tubo. Le caratteristiche del punto luminoso dipendono anche dalla natura e composizione di questo strato.

D'altra parte queste caratteristiche sono determinate dallo scopo che ci si propone. Di regola si tende ad ottenere la massima lucentezza, ma bisognerà naturalmente badare acciocchè lo strato fluorescente non si alteri, e si oscuri il meno possibile.

Il colore dell'immagine luminosa deve corrispondere alla utilizzazione che ci si propone di farne: per una osservazione ad occhio nudo per esempio, questo colore dovrà trovarsi nella parte verde dello spettro poichè è quella che corrisponde alla massima sensibilità dell'occhio. Per registrazioni fotografiche, il colore deve essere dal lato del blu poichè è per questo colore che le lastre e le pellicole fotografiche sono maggiormente sensibili.

Il materiale che costituisce lo schermo dovrà inoltre avere caratteristica tale da illuminarsi sufficientemente per le grandi velocità di iscrizione del punto. Su questo argomento ritorneremo più avanti.

Anche il diametro del punto luminoso è importante. Più esso è piccolo, più fine sarà la linea descritta dal punto sullo schermo. In tal caso sono meglio osservabili i dettagli. Ciò che qui conta è il rapporto fra il diametro dello schermo ed il diametro del punto. Il rapporto di questi due diametri

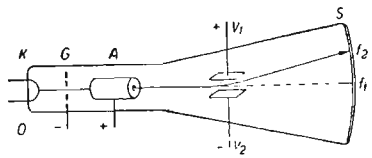


Fig. 4

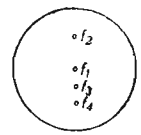


Fig. 5

viene definito potere di risoluzione del tubo a raggi elettronici. Più elevato è questo rapporto, migliore è il tubo.

Abbiamo visto come il tubo a raggi elettronici comporti ancora due coppie di placche deflettrici (fig. 1 V_1 V_2 e H_1 H_2). La funzione di queste placche è quella di deviare il fascio elettronico e quindi di spostare il punto luminoso sullo schermo.

Ma come possiamo noi deviare il fascio?

Il fascio elettronico è costituito da particelle cariche negativamente. Se si applica allora una tensione fra le placche deflettrici V_1 e V_2 come indicato in fig. 4, il fascio sarà deviato verso l'alto per il fatto che le particelle

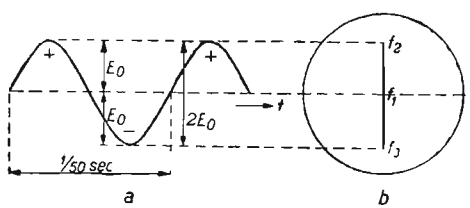


Fig. 6

cariche di elettricità negativa sono respinte dalla placca V_2 caricata negativamente ed attraente dalla placca V_1 caricata positivamente.

Il valore della deviazione, cioè l'ampiezza dello spostamento del punto, dipende dal valore della tensione applicata alle placche deflettrici. Così, per una certa tensione, il punto verrà in f_2 (fig. 5). Se si inverte rapidamente la polarità di V_1 e V_2, il punto luminoso si porterà in f_4. Se la tensione viene ridotta a metà il punto verrà in f_3. Se invertiamo la tensione abbastanza rapidamente, e se la facciamo crescere e decrescere progressivamente anche il punto f si sposterà rapidamente ma progressivamente da f_2 a f_1, f_3 in f_4, ed inversamente. In conseguenza della persistenza retinica delle immagini sull'occhio e della rimanenza luminosa del materiale costituente lo schermo, si vedrà una linea. È il caso che si verifica allorchè tra le placche V_1 e V_2 si applica una tensione alternativa (vedi fig. 6).

Fra la deviazione del fascio, cioè la lunghezza della linea, e le altre grandezze del tubo catodico, esiste una relazione semplice:

$$A = \frac{V_1 \times l \times L}{2\, V_a \times d}$$

In questa formula si ha:

A = ampiezza dello spostamento;
l = lunghezza delle placche deflettrici;
L = distanza fra il punto di mezzo delle placche e lo schermo;
V_a = tensione del secondo anodo;
d = distanza fra le placche V_1 e V_2;
V_1 = tensione applicata fra le placche V_1 e V_2.

Noi vediamo che lo spostamento è proporzionale alla tensione applicata fra le placche deflettrici, alla lunghezza di queste placche ed alla loro distanza dallo schermo, ed inversamente proporzionale alla tensione anodica ed alla distanza fra le due placche deflettrici.

Per i tubi normali del commercio, si trovano sensibilità di circa 10 ÷ 20 volt per centimetro di lunghezza di linea (altezza dell'immagine). Se si ha un tubo di sensibilità 20 volt per cm., avente un diametro di 9 cm., e se si vuole ottenere una altezza di immagine di 8 cm., la tensione di deviazione necessaria è di 8/2 × 20 = 80 volt.

Per una tensione alternativa la tensione efficace diviene:

$$V_{eff} = 80 \times \frac{1}{2}\sqrt{2} = 57 \text{ volt}$$

Per alcune applicazioni, si fabbricano anche dei tubi con un terzo anodo. Questo anodo anulare è posto contro la parete di vetro e funziona come anodo di post-accelerazione. Cioè gli elettroni vengono accelerati ancora una volta ed urtano lo schermo fluorescente con una velocità più elevata aumentando in tal modo la luminosità della immagine. Sfortunatamente però si perde in sensibilità. Un tale tubo è rappresentato in fig. 7.

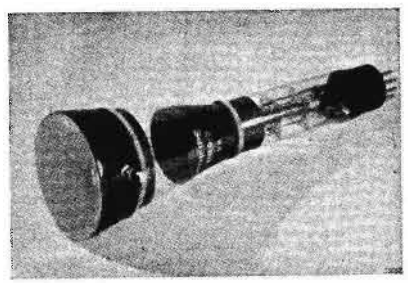


Fig. 7

Fin qui abbiamo parlato di una tensione applicata alle placche di deviazione verticali V. Se applichiamo una tensione anche alle placche di deviazione orizzontali, il fascio risulterà deviato anche nella direzione orizzontale. Come risultato di ciò; il fascio deviato simultaneamente nelle direzioni verticale ed orizzontale, devierà secondo la loro risultante vettoriale.

La fig. 8 rappresenta schematicamente la successione delle operazioni. Se si applica una tensione continua alle placche di deviazione verticali, il punto luminoso si sposta in f_2; se si applica la stessa tensione alle placche di deviazione orizzontali, esso si sposta in f_3 (fig. 8 b).

Se si applica la stessa tensione continua alle due coppie di placche, il punto immagine si porta in f_4 come indicato in fig. 8 c.

Se ora riduciamo a metà le tensioni di deviazione, anche lo spostamento viene ridotto a metà: il punto immagine si porta in f_4 (fig. 8 d).

Se applichiamo alle due coppie di placche una tensione alternativa in luogo di una tensione continua, il punto immagine si sposterà alternativamente fra f_1 e f_4 col ritmo della tensione alternativa.

Se questa frequenza è sufficientemente elevata, in conseguenza della persistenza visiva e della rimanenza dello schermo, si vedrà sullo schermo una linea continua fra f_1 e f_4.

Se applichiamo alle due coppie di placche deflettrici delle tensioni alternative di frequenza differente, il punto immagine descrive allora una linea più o meno complicata, e noi vediamo sullo schermo una linea in movimento continuo non chiusa su se stessa.

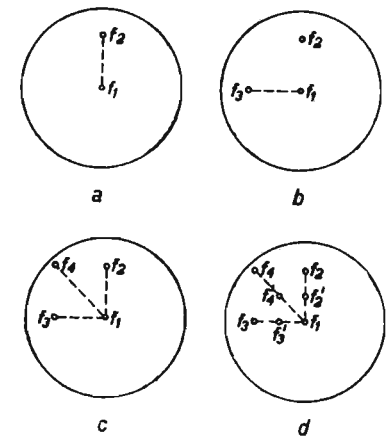


Fig. 8

La forma di questa linea dipende dal rapporto di armoniche, dalle relazioni di ampiezza e di fase delle due tensioni. Se il rapporto delle frequenze delle due tensioni è uguale al rapporto di due numeri interi, noi vediamo sullo schermo una linea chiusa stazionaria.

Queste figure, dette curve di Lissajous, possono essere studiate ed analizzate completamente se una delle tensioni delle placche deflettrici è sinusoidale. La figura 9 mostra una tale curva di Lissajous.

È tuttavia augurabile che la tensione delle placche deflettrici orizzontali abbia una forma tale che la tensione da studiare appaia sullo schermo come una funzione del tempo. Giungiamo a ciò attraverso un sistema incorporato nell'oscillografo chiamato base del tempo.

La base dei tempi.

Per ottenere che la tensione applicata alle placche di deviazione verticali compaia sullo schermo come una funzione del tempo, è necessario che il punto immagine si sposti periodicamente sullo schermo nella direzione orizzontale, con velocità costante, a partire da un punto origine al quale ritorna immediatamente dopo aver attraversato lo schermo. Se il tempo impiegato dal punto immagine per attraversare lo schermo da sinistra a destra è uguale al periodo della tensione alternativa applicata alle placche di deviazione verticali, è chiaro che sullo schermo si vedrà un periodo di questa tensione alternativa. La figura 10 rappresenta una tale immagine.

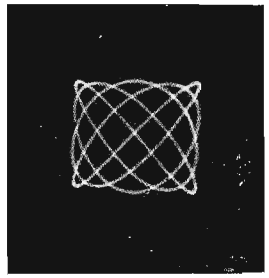


Fig. 9

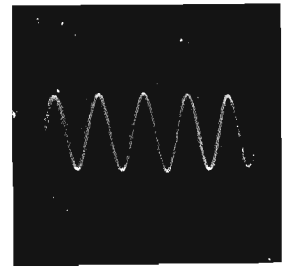


Fig. 10

Come si deve fare per ottenere questa proporzionalità fra il tempo e la deviazione nella direzione orizzontale?

È sufficiente applicare alle placche deflettrici una tensione che aumenti proporzionalmente al tempo per poi ritornare bruscamente al suo valore iniziale.

Il modo più semplice per realizzare una tale tensione è fornito da un potenziometro a variazione lineare di resistenza. La figura 11 ne rappresenta lo schema.

Fra a e b è applicata una certa tensione fornita per esempio da una batteria. Se il cursore C si sposta lungo la resistenza con una velocità costante, la tensione fra a e c varia proporzionalmente al tempo.

Se il cursore si sposta da a verso b la tensione fra a e c aumenta costantemente a partire dal valore zero fino a raggiungere il valore massimo (cursore c in b) e ricade bruscamente a zero allorchè c si ritrova nella posizione iniziale a. Il risultato di una tale variazione di tensione è rappresentato in figura 12 e si denomina tensione a denti di sega.

Abbiamo visto che per riprodurre un periodo della tensione applicata alle placche verticali, bisogna che il tempo impiegato dalla tensione delle placche orizzontali per crescere dal valore minimo al valore massimo sia uguale ad un periodo della tensione delle placche verticali. Poichè le frequenze delle tensioni da osservare sono variabili, segue che la velocità del cursore c della figura 11 deve essere regolabile fra limiti molto estesi. Ciò è pressochè impossibile da realizzare nella maniera sopra descritta. È perciò

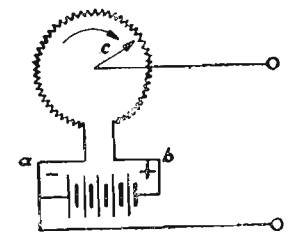


Fig. 11

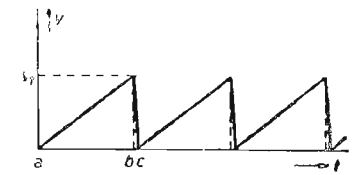


Fig. 12

che la tensione della base dei tempi di un oscillografo a raggi elettronici viene prodotta per via elettrica. Un metodo semplice è indicato in fig. 13.

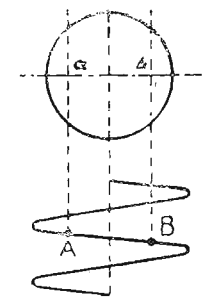


Fig. 13

In questa figura, si è rappresentato lo schermo del tubo a raggi catodici

sul quale si deve rappresentare un'immagine da a a b. Una tensione sinusoidale è applicata alle placche orizzontali, e la sua ampiezza è tale che il punto immagine uscirebbe notevolmente dai limiti dello schermo. La parte AB della tensione sinusoidale (per esempio ¼ del periodo) varia presso a poco linearmente in funzione del tempo. Se si sceglie come tensione la tensione della rete (f = 50 p/s) si può dunque osservare durante questo intervallo di tempo un fenomeno di 4 × 50 = 200 p/s.

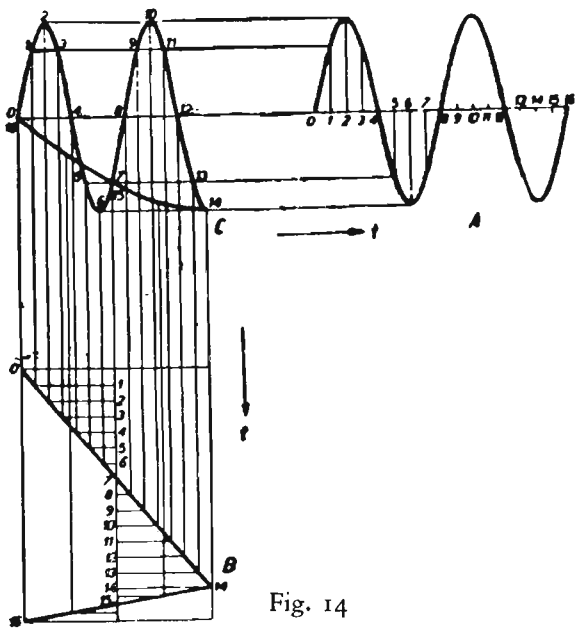


Fig. 14

Se amplifichiamo ancora l'ampiezza della tensione alternativa in modo tale che la parte AB non sia che 1/40 mo del periodo, si può osservare una tensione di 40 × 50 = 2000 p/s.

In questo modo però non si possono osservare fenomeni aventi frequenza superiore a 5000 p/s. D'altra parte, la durata di ritorno del punto immagine dalla tensione massima alla tensione minima è troppo lungo.

L'impiego di questo metodo è dunque molto limitato. Ma si conoscono in elettrotecnica dei sistemi che possono produrre delle tensioni che variano linearmente col tempo; sono le cosidette oscillazioni di rilassamento. La loro

frequenza è determinata dal valore degli elementi del circuito, e può essere sincronizzata applicando degli impulsi periodici di tensione. Si possono pertanto utilizzare come tensioni della base dei tempi in un oscillografo.

Il tempo impiegato dalla tensione a denti di sega per passare dal valore massimo al minimo, pur brevissimo che sia, non è nullo in conseguenza dell'inerzia del sistema (vedi bc fig. 12). Durante questo tempo il fascio elettronico deve ritornare alla sua posizione iniziale: è il ritorno del punto immagine. Quando si studia un oscillografo è dunque essenziale costruire la base dei tempi in modo tale che il ritorno del punto luminoso sia il più breve possibile.

La figura 14 ci mostra come è ottenuto un oscillogramma sullo schermo di un tubo a raggi catodici quando si applica alle placche di deviazione orizzontali una tensione di base dei tempi lineare, ed alle placche di deviazione verticali una tensione sinusoidale.

La linea che congiunge O e C è il ritorno del punto immagine.

Nei sistemi della base dei tempi utilizzati in un oscillografo si è sovente ricorso ad un tubo a scarica a riempimento gassoso.

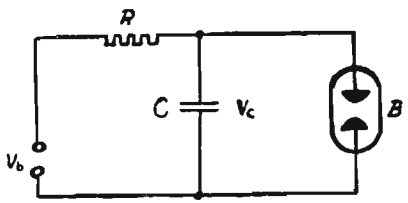


Fig. 15

Un tale tubo ha la proprietà di lasciar passare bruscamente una corrente intensa allorchè è raggiunta una certa tensione (tensione di innesco). Se allora si carica un condensatore attraverso una resistenza e questo condensatore viene poi scaricato mediante un tal tubo, si ottiene una tensione a denti di sega.

In effetti, la tensione ai capi del condensatore cresce con legge esponenziale secondo la formula:

$$V_c = V_b . \left(1 - e^{-t/I} \right)$$

Quando V_c è uguale alla tensione di innesco del tubo B, questi scarica bruscamente il condensatore. Il risultato è indicato in figura 16.

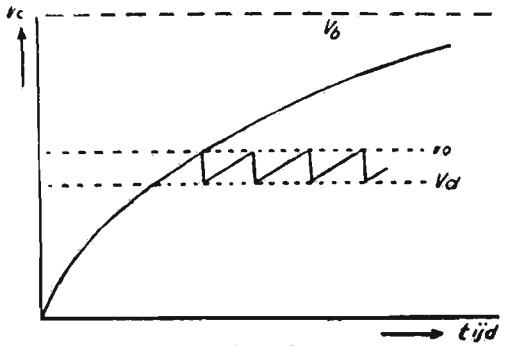


Fig. 16

La curva rappresenta la tensione del condensatore in funzione del tempo. Questa tensione aumenta fino a che si raggiunge la tensione V_o di innesco del tubo a gas. Questo tubo lascia allora passare una corrente intensa, cioè diviene conduttore, e la tensione del condensatore decresce rapidamente fino a V_d: è questa la tensione di spegnimento del tubo. Questo allora non è più conduttore e la tensione del condensatore si rimette a crescere fino a raggiungere V_o ecc. La tensione ai capi del condensatore varia così periodicamente fra V_o e V_d. La frequenza è determinata da queste tensioni e dal valore degli elementi del circuito. Per esempio se R è piccola (fig. 15) la carica del condensatore si effettua più rapidamente che non se la resistenza è grande. Analogamente un piccolo condensatore si carica più rapidamente di un grande condensatore.

La frequenza di un tal sistema è fornita dalla formula:

$$f = a \frac{1}{R\,C \log_e \frac{Vb - Vd}{Vb - Vo}}$$

nella quale a è un fattore determinato dalla temperatura del gas del tubo, dalla corrente di scarica e da altri fattori. La tensione del condensatore è esponenziale e non cresce quindi linearmente in funzione del tempo. Se il tratto di curva V_o — V_d utilizzato è piccolo la linearità è più o meno approssimata ma non è perfetta. Si può migliorarla sostituendo la resistenza R della figura 15 con un pentodo. In virtù dell'effetto della griglia schermo, il pentodo presenta la caratteristica che la corrente anodica resta costante quando la tensione anodica varia entro ampi limiti. La linearità così ottenuta è molto migliore. La corrente anodica che attraversa un pentodo può essere regolata mediante la tensione della griglia di comando. Rendendo questa variabile, si può regolare la durata di carica del condensatore, cioè la frequenza. Se inoltre si rende variabile questo condensatore, per esempio commutando condensatori di differente capacità, si può regolare a volontà la frequenza della tensione a denti di sega. Se si regola convenientemente la frequenza della tensione a denti di sega è possibile ottenere una immagine immobile della tensione da studiare applicata alle placche di deviazione verticali, sincronizzandola sulla frequenza della tensione da studiare.

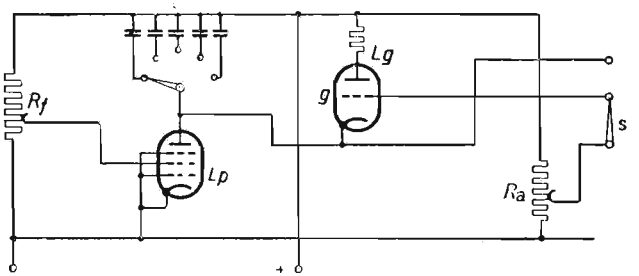


Fig. 17

Ma questa regolazione è lunga e delicata soprattutto alle frequenze elevate. È perciò che si preferisce ricorrere alla sincronizzazione automatica.

Si utilizzano allo scopo tubi a riempimento gassoso aventi un elettrodo supplementare fra l'anodo e il catodo; la griglia di comando. Applicando una tensione su questa griglia, si può agire sull'innesco del tubo. Se si applica allora una parte della tensione da studiare sulla griglia del tubo a gas, le punte di questa tensione possono provocare l'innesco del tubo. In altri termini si può rendere la tensione a denti di sega sincrona con la tensione da studiare ed ottenere una immagine immobile sullo schermo del tubo a raggi elettronici. È sufficiente scegliere gli elementi determinanti della frequenza della tensione a denti di sega in modo che questa frequenza sia uguale alla frequenza in misura o ad un suo sottomultiplo; la tensione di misura sincronizza allora automaticamente la tensione a denti di sega. Un vantaggio importante dei tubi a scarica sopra descritti è che il tempo di scarica è molto

più breve di quello dei tubi a gas ordinari a due elettrodi. Ciò significa che i triodi a gas permettono di raggiungere frequenze a denti di sega più elevate.

Se la frequenza massima per i tubi ordinari a due elettrodi è di circa 10 kc/s, essa è di circa 50 kc/s per i triodi a gas a riempimento di argon e può anche raggiungere 150 kc/s per i triodi a riempimento di elio. La figura 17 riproduce uno schema completo della base dei tempi.

Con l'aiuto di un commutatore si possono scegliere le diverse capacità C ottenendo così una certa gamma di frequenze. Mediante la resistenza R_f si regola la corrente di carica attraverso il pentodo, ciò che consente di ottenere una regolazione continua in ogni gamma di frequenza.

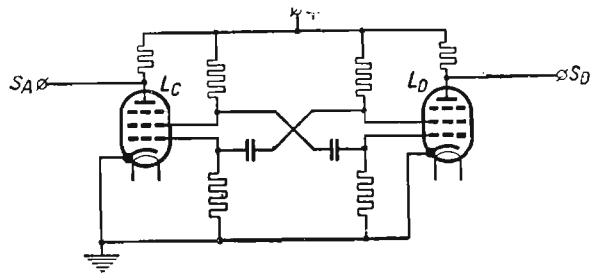


Fig. 18

Tuttavia negli oscillatori moderni, il triodo a gas non è utilizzato che raramente. Il suo impiego è ancora possibile in un oscillografo la cui gamma di frequenza non è troppo elevata; ma se si vuole ottenere una frequenza a denti di sega superiore a 150 kHz, l'inerzia di un triodo a gas costituisce un ostacolo insormontabile. Si utilizzano allora i tubi a vuoto spinto, detti « tubi duri ». Essi permettono di raggiungere frequenze molto più elevate. Il principio della loro utilizzazione differisce da quello di un triodo a gas. Il principio più spesso utilizzato è quello del multivibratore. La figura 18 rappresenta un tale schema, il multivibratore d'Abraham e Bloch.

Un condensatore è posto tra le griglie e le griglie-schermo dei due tubi. Lo stato di equilibrio che esisterebbe se le tensioni delle griglie di comando dei due tubi fossero uguali, e di conseguenza anche le tensioni di griglia schermo, è instabile.

Se, ad un certo istante, la tensione della griglia comando di uno dei due tubi è troppo alta, la corrente di questo tubo va aumentando, come pure

aumenterà la caduta di tensione nella resistenza di griglia schermo di questo tubo, la tensione di griglia schermo decresce e, attraverso il condensatore di accoppiamento C, la tensione della griglia di comando del secondo tubo decresce. Se la corrente che attraversa quest'ultimo tubo va crescendo, anche la corrente di griglia schermo decresce e la tensione di griglia schermo aumenta. L'accoppiamento capacitativo fa quindi aumentare la tensione della griglia di comando del primo tubo, ecc. L'aumento della tensione della griglia schermo è limitato dalla tensione di alimentazione della quale si di-

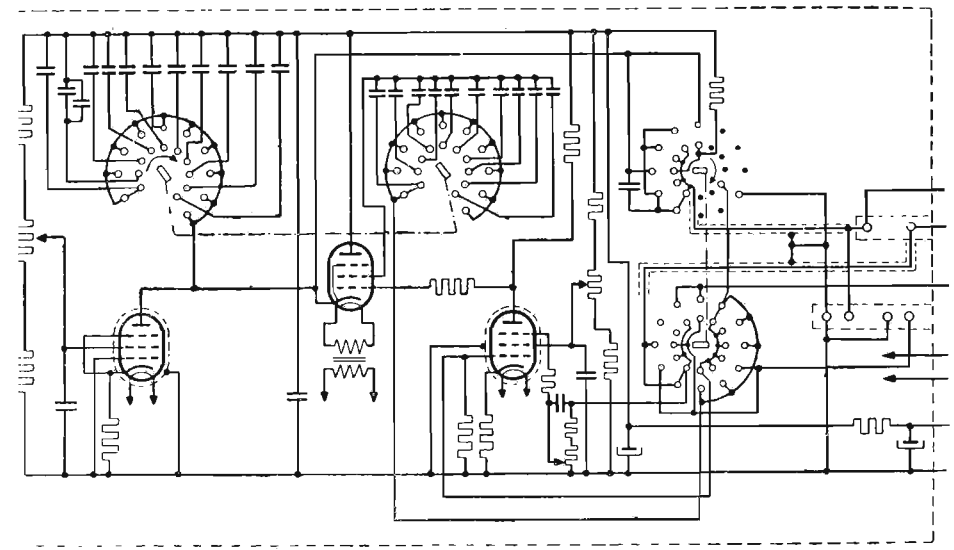


Fig. 19

spone, alla quale sono collegate le griglie schermo attraverso resistenze. Quando la tensione della griglia schermo del secondo tubo non può più aumentare, la tensione di griglia di comando del primo tubo decresce in conseguenza della caduta nella resistenza, di modo che gli stessi fenomeni si riprodurranno in senso inverso. Il tempo di rilassamento di questi fenomeni è determinato dai valori delle capacità e delle resistenze di griglia.

Anche in questi casi, la scarica dei condensatori, nei riguardi della tensione prodotta, non è lineare ma esponenziale.

Ma si può effettuare la scarica attraverso un pentodo che mantiene co-

stante la corrente di scarica, di modo che l'accrescimento di tensione ai capi del condensatore diviene lineare. Si ottiene così il circuito della figura 19 che rappresenta uno schema completo della base dei tempi quale esso è utilizzato negli oscillografi.

Gli oscillografi moderni Philips quali il GM 3159 e GM 5655 contengono una base dei tempi realizzata in modo molto seducente e semplice. La tensione della base dei tempi è fornita da un solo tubo. Il pentodo EF 50 ha la funzione di tubo di scarica nel quale viene scaricato il condensatore C_t. Il sistema oscilla allora durante un tempo brevissimo (*). Durante questo tempo la tensione negativa di griglia passa rapidamente da —2 a —20 V circa.

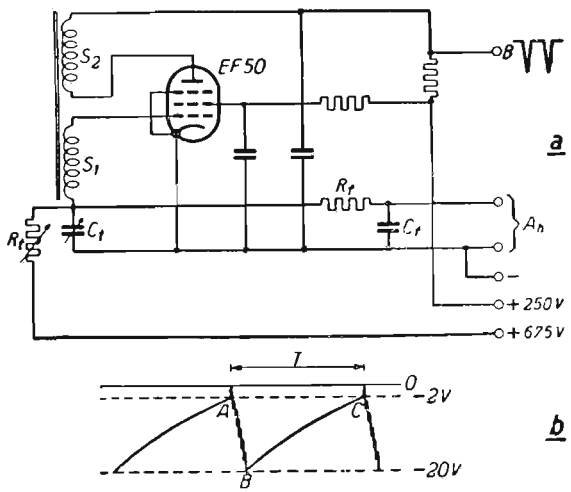


Fig. 20

Questa tensione è applicata al condensatore C_t. Per circa —20 V, la pendenza del tubo è così piccola che l'oscillazione cessa. Il condensatore è allora ricaricato in senso inverso attraverso una resistenza R_t a partire da una tensione positiva elevata (675 V). Allorchè la tensione ai capi del condensatore C_t è ritornata a —2 V, il sistema si rimette ad oscillare.

La figura 20b rappresenta la forma della tensione ai capi del condensatore C_t in funzione del tempo. Il tempo di rilassazione T può variare rendendo variabile il condensatore C_t e la resistenza R_t. Si può così regolare

(*) Vedere ad esempio F. Van Slooten. *Revue Tecnique Philips*. Tomo 7, pag. 40-45 (1942) e Tomo 7, pag. 171-177 (1942).

la frequenza della tensione a denti di sega entro limiti molto estesi. La tensione viene prelevata ai capi di C_t. Il filtro R_f C_f elimina la frequenza di oscillazione molto elevata.

Se C_t e R_t fossero montate direttamente in parallelo, la linea BC della figura 20b risulterebbe molto inclinata. Qui, si è posto in serie con R_t una sorgente di tensione elevata in modo che la variazione di carica è praticamente lineare. La sincronizzazione è ottenuta applicando alla griglia di comando una piccola tensione alternativa supplementare prelevata dal segnale da misurare. Si agisce così nell'istante in cui inizia l'oscillazione. Nel circuito anodico del pentodo si è anche inserito una resistenza. Ai capi di questa resistenza appaiono dei brevi impulsi di tensione negativa quando il tubo assorbe corrente, cioè durante il breve istante in cui il tubo oscilla. Questi impulsi di tensione sono utilizzati per sopprimere l'immagine luminosa durante il ritorno. Si applicano al cilindro di Wehnelt del tubo.

Gli amplificatori.

Studiando il tubo a raggi catodici, abbiamo già visto che la sensibilità dei tipi correnti del commercio è dell'ordine di grandezza di 20 V per cm. di altezza di immagine e che per una altezza di immagine di 8 cm. necessita una tensione di 57 V_{eff} (tensione alternativa). Si è ben lontani dall'aver sempre a disposizione una tale tensione. Nella maggior parte dei casi, le tensioni che si desiderano osservare sono molto più basse. Esse dovranno dunque essere amplificate.

A tale scopo si è incorporato nell'oscillografo un amplificatore per il canale verticale, o due amplificatori per i due canali verticale ed orizzontale. Questi amplificatori devono soddisfare ad esigenze molto rigorose; la distorsione dovrà essere debolissima e la gamma di frequenza molto estesa.

Un amplificatore per radio o grammofono è considerato molto buono se la caratteristica di frequenza è retta, entro limiti stretti, per esempio da 20 a 15.000 periodi per secondo.

Ma negli oscillografi si vuole poter misurare una gamma di frequenza di grande estensione. Possiamo qui distinguere gli oscillografi per il dominio acustico e meccanico, che hanno una gamma di frequenza da 0,1 a 10.000 periodi al secondo, dagli oscillografi per fenomeni di alta frequenza nei quali si desidera andare dalle basse frequenze di qualche periodo per

secondo fino a parecchie centinaia di migliaia ed anche parecchi milioni di periodi al secondo.

Ognuna di queste due categorie deve soddisfare a delle condizioni particolari.

a) Amplificatori per bassa frequenza.

Questo amplificatore sarà utilizzato in un oscillografo col quale si vogliono studiare dei fenomeni meccanici, per esempio vibrazioni. dei fenomeni acustici a bassissima frequenza, ecc.

La frequenza massima di 10.000 p/s è largamente sufficiente in quasi tutti i casi incontrati nella meccanica. Per esempio nel caso di un albero che ruoti eccentrico attorno al proprio asse, e che in un modo o nell'altro invia un impulso di tensione all'oscillografo ad ogni giro, questa frequenza significa 60 × 10.000 = 600.000 giri al minuto, ciò che mai si presenta in pratica. Poichè un tale amplificatore incomincia a 0,1 p/s, i fenomeni della durata di 10 secondi sono ancora amplificati e riprodotti regolarmente.

La banda delle frequenze elevate non offre qui alcuna difficoltà, ma per raggiungere le basse frequenze bisogna impiegare dei condensatori di accoppiamento molto grandi. L'amplificazione deve essere elevatissima, poichè le tensioni disponibili sono spesso deboli.

È così che l'amplificatore dell'oscillografo Philips GM 3156 per basse frequenze comprende due stadi che danno una amplificazione totale di 10000. Ciò significa che un segnale di 1 mV_{eff} ai capi di entrata origina una altezza di immagine di 1 cm. La pratica ha mostrato che una tale amplificazione è largamente sufficiente nella maggior parte dei casi.

b) Amplificatori per alta frequenza.

Per alta frequenza noi intendiamo le frequenze della gamma radio, cioè varie centinaia di migliaia di periodi al secondo. È chiaro che un amplificatore che copra una banda così ampia (nel Philips GM 3159 da 6 p/s a 10^6 p/s ad esempio), esiga uno speciale montaggio.

Gli amplificatori devono poter emettere una tensione alternativa di una ampiezza tale che la grandezza dell'immagine sul tubo a raggi catodici sia almeno uguale al diametro dello schermo ed esente da distorsione. Ciò significa una tensione da 100 a 300 volt. e per tutte le gamme di frequenza. Poichè questa gamma di frequenza (larghezza di banda) è molto estesa, non

si possono utilizzare che delle deboli resistenze d'anodo, ciò che limita l'amplificazione per stadio. La resistenza interna del tubo indicatore (R_i) è allora molto più grande della resistenza anodica R_a. Per l'amplificazione per stadio possiamo adottare le relazione semplice:

$$A = S.Ra \qquad (S = 30).$$

Per ottenere una amplificazione più grande possibile, si utilizzano dei tubi aventi una pendenza più grande possibile. Ma una pendenza elevata significa una corrente anodica elevata. Per ottenere una tensione di uscita da 100 a 300 volt, si ha così bisogno di una tensione di alimentazione elevata, per esempio da 450 a 750 volt. Inoltre molto spesso si ha bisogno di una tensione simmetrica all'uscita dell'amplificazione, in modo che questo o almeno il suo stadio finale viene montato in push-pull. Un interessante esempio di un tale amplificatore è incorporato nell'oscillografo Philips GM 3159 *).

Fotografia e registrazione.

La fotografia e la registrazione degli oscillogrammi si può fare nella maniera seguente.

1. Metodo diretto.

a) Con un metodo interno.

In questo caso il materiale di registrazione è installato nell'interno del tubo a raggi catodici nel quale si fa successivamente il vuoto.

b) Con metodo esterno.

In questo caso gli elettroni attraversano lo schermo del tubo e colpiscono il materiale di registrazione posto all'esterno del tubo.

2. Metodo indiretto.

a) Fotografia per contatto.

In questo caso, il materiale fotografico è applicato contro lo schermo luminescente del tubo.

b) Fotografia mediante macchina fotografica.

---

*) Vedi articolo di Ir. E. E. Carpentier nella Rivista Tecnica Philips di Luglio 1947, pag. 208.

In questo caso si utilizza una macchina fotografica per fissare la immagine luminosa formata sullo schermo del tubo.

Parleremo qui esclusivamente di quest'ultimo metodo, poichè è il più importante ed è praticamente il solo utilizzato per la fotografia e la registrazione.

Si possono già ottenere buoni risultati con una macchina da dilettante a condizione che la si possa regolare per la fotografia a piccola distanza.

Le macchine per pellicola di formato ridotto, in particolare con otturatore couplé e dispositivo di avvolgimento della pellicola, sono molto ben utilizzabili, mentre le macchine Reflex offrono il vantaggio di poter seguire simultaneamente l'immagine.

L'ottenimento di una buona immagine fotografica dipende da numerosi fattori quali il tempo di posa, la nitidezza del soggetto, lo sviluppo della pellicola, ecc.

L'annerimento è determinabile dal prodotto della intensità luminosa per la durata di esposizione. L'intensità luminosa dipende dalla brillantezza del l'immagine, dell'apertura e della trasmissione dell'obbiettivo; la durata dipende dalla velocità del punto luminoso o dalla velocità dell'otturatore a seconda del metodo utilizzato. L'annerimento dipende inoltre dalla ripartizione spettrale dell'immagine (colore), e dalla sensibilità spettrale dell'emulsione fotografica.

La brillantezza dell'immagine dipende dallo schermo a raggi catodici, e sopratutto dalle tensioni anodiche applicate ai tubi.

Per la brillantezza si può ammettere in generale:

$$H = k.(V - V_0)^n$$

con k e V_0 = cost.;

V = tensione anodica; n è compreso fra 1 e 3.

La brillantezza dell'oscillogramma cresce dunque rapidamente con la tensione applicata. Sebbene una tensione anodica elevata sia interessante dal punto di vista della brillantezza, questa presenta degli inconvenienti poichè la sensibilità di deflessione risulta diminuita, e la durata del tubo viene ad essere sfavorevolmente influenzata. Per ottenere una più alta brillantezza si può anche utilizzare la post-accelerazione degli elettroni. A tale scopo il tubo possiede un anodo separato di post-accelerazione posto presso lo schermo fluorescente sotto forma di anello nella parete di vetro (per esempio uno strato di grafite sul vetro).

In questo caso gli inconvenienti segnalati sono meno marcati. Nelle circostanze ordinarie si utilizza una macchina fotografica normale, in modo che la distanza focale della lente, e la distanza dalla lente alla pellicola è approssimativamente uguale alla distanza focale. Quando questa condizione è soddisfatta, l'apertura effetttiva della lente resta costante, come pure l'esposizione.

Ma se l'oggetto si trova presso la lente, la messa a punto obbliga ad allontanare le pellicola dalla lente. Per conseguenza, l'apertura effettiva della lente diminuisce e bisogna aumentare l'esposizione.

L'illuminazione di un punto dell'immagine formata dalla lente posto in vicinanza dell'asse è data da

$$\frac{\pi B f^2 T}{4 F^2 V^2}$$

con

B = brillantezza del punto corrispondente dell'oggetto;
F = distanza focale della lente;
T = trasmissione della lente (50 ÷ 90 %);
V = distanza immagine;
f = apertura della lente = $\frac{F}{\text{diametro della lente.}}$

D'altra parte si ha:

$$\frac{f^2}{V^2} = \frac{1}{(M+1)^2}$$

(M = ingrandimento).

E per l'illuminazione

$$I = \frac{\pi B T}{4F^2 (M+1)^2}$$

Segue che se si diminuisce l'ingrandimento M aumentando la distanza dell'oggetto, l'illuminazione dell'immagine aumenta costantemente fino al momento in cui M è piccolo rispetto ad 1, poi resta costante e si trova allora determinato dalla brillantezza dell'oggetto (immagine sullo schermo del tubo).

La tabella qui sotto indica l'accrescimento dell'illuminazione quando si diminuisce l'ingrandimento.

Risulta da questo quadro che vi è poco interesse ad adottare dei valori di M inferiori a 1/8.

M	$\frac{1}{(M+1)^2}$
1	0,25
0,5	0,45
1/4	0,64
1/8	0,80
1/16	0,88
1/199	0,99

È dunque interessante ricercare le migliori condizioni possibili per ottenere un'immagine di una determinata grandezza, l'amplificazione elettrica e l'ingrandimento ottico essendo variabili.

Ora noi abbiamo visto che si può aumentare l'illuminazione diminuendo l'ingrandimento. Anche l'esposizione deve crescere se si diminuisce l'amplificazione (l'oggetto fotografato sullo schermo diviene più piccolo). Queste due grandezze sono inversamente proporzionali.

Noi possiamo rendere evidente questo matematicamente nella formula precedente che dà l'illuminazione aggiungendo un fattore V_m all'ingrandimento M.

Il prodotto $M.V_m$ è allora costante.

Il tempo di posa t è proporzionale a $1/V_m$ e l'intensità di illuminazione I è proporzionale a $1/(M+1)^2$.

Per l'illuminazione del punto immagine ottico si ha dunque: It che è proporzionale a $1/V_m^2\ (M+1)^2$ cioè è proporzionale a $M/(M+1)^2$.

Questa espressione è massima per $M = 1$.

Ciò significa che si ottiene l'esposizione massima se si dà allo oscillogramma del tubo la grandezza voluta e se lo si fotografa alla stessa grandezza.

L'immagine ottenuta sulla foto deve essere tanto grande quanto l'oscillogramma del tubo a raggi catodici.

Scopo della fotografia è di fissare l'oscillogramma di un fenomeno per avere un punto di comparazione o per poterlo studiare con comodo.

Per i fenomeni che non compaiono che una volta sullo schermo, si ha vantaggio di utilizzare tubi che possiedono un anodo di post-accelerazione per ottenere una intensità luminosa più elevata.

È il caso per esempio per la fotografia dei fenomeni che si producono nell'apertura e chiusura dei contatti, durante la fusione dei fusibili, ecc.

Poichè il materiale fotografico è in generale più sensibile per la parte blu dello spettro, si può, per i fenomeni molto rapidi, prendere una pellicola con schermo blu e post-accelerazione (D B 9 — 5).

Per i fenomeni che si ripetono periodicamente, ciò non è necessario poichè si può ottenere una immagine immobile ed esporre a lungo.

Per l'osservazione visiva, si raccomanda uno schermo verde, poichè è per questo colore che è maggiore la sensibilità dell'occhio.

Apparecchi ausiliari dell'oscillografo.

Per rispondere alla grande diversità di impiego degli oscillografi nei vari campi di applicazione, si sono costruiti un certo numero di apparecchi ausiliari di cui noi ne citeremo qui alcuni:

a) I commutatori elettronici GM 4581.

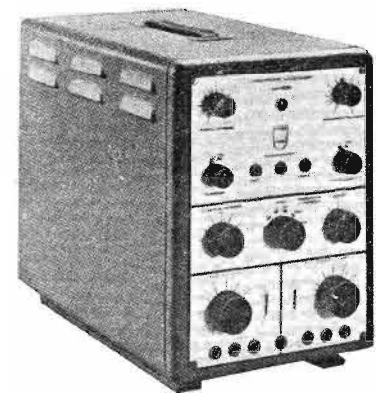


Fig. 21

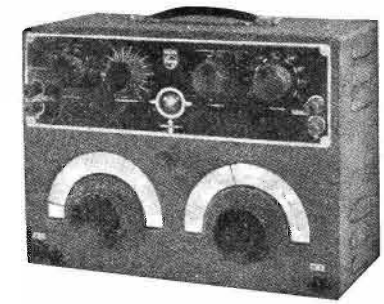


Fig. 22

Essi permettono l'osservazione simultanea di più fenomeni sullo schermo dell'oscillografo (*).

b) L'oscillatore a bassa frequenza GM 2307 per ottenere una indicazione

Fig. 23

Fig. 24

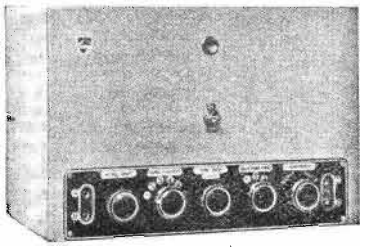


Fig. 25

Fig. 26

del tempo sullo schermo dell'oscillografo, e per effettuare delle misure comparative in bassa frequenza.

c) Apparecchio di tensione di post-accelerazione a 5000 V. GM 4198 per ottenere la brillantezza dell'immagine e aumentare la velocità di iscrizione. La brillantezza può essere aumentata ad un tal punto che se si utilizza un oscillografo previsto per questo scopo (GM 5652) si può proiettare

(*) Vedere l'articolo di L. Hintabergen in « Microtechique et Revue de Radiotechnique ».

l'oscillogramma su uno schermo. A questo scopo l'oscillografo è provvisto di un apparecchio accessorio per proiezioni GM 4199 o GM 8024.

Con l'aiuto di uno stativo fotografico GM 4193, si può fissare l'immagine con foto.

d) L'apparecchiatura di vibrazione Gm 5520/22/25, GM 5526, GM 5527 che permette lo studio e la misura di ogni specie di fenomeni vibratori mec-

Fig. 27

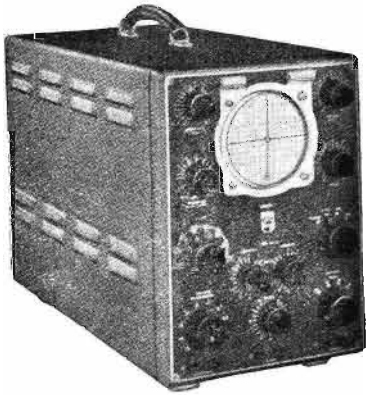


Fig. 28

canici. In questa categoria bisogna includere anche l'indicatore di fase GM 5670 che permette di determinare la fase di squilibrio di corpi in rotazione.

e) L'apparecchio per la base dei tempi non incorporato GM 8003 che permette di fotografare dei fenomeni che non si producono che una sola volta.

f) Un amplificatore GM 4570 che è utilizzato se si desidera una grandissima sensibilità.

Qualche esempio di oscillografo.

1. GM 5655.

Piccolo oscillografo molto pratico con un tubo da 7 cm. e due amplificatori. Conviene per frequenze 6 p/s fino a 100 kp/s.

Con la sonda GM 4575 permette lo studio di segnali modulati fino a 30 Mc/s.

È un oscillografo concepito per misure semplici, per laboratori, per l'insegnamento e là dove si utilizzano parecchi oscillografi fianco a fianco.

2. GM 3159.

Apparecchio più universale con due amplificatori simmetrici per le frequenze da 5 p/s a circa 1 Mc/s.

Sensibilità massima 25 mV/cm.

Regolazione automatica dell'ampiezza di sincronizzazione.

Tubo a raggi catodici con schermo da 7 cm. di diametro e punto luminoso di grande finezza. Permette l'ingrandimento verticale ed orizzontale dell'immagine. Questo oscillografo può essere utilizzato praticamente ovunque e per tutti gli scopi.

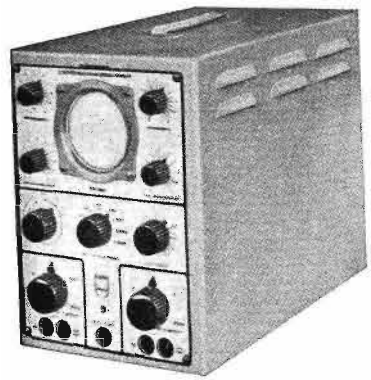


Fig. 29

Fig. 30

4. GM 3156

Un oscillografo con un tubo da 9 cm. Concepito per la proiezione, la fotografia e la registrazione grazie ad un anodo di post-accelerazione. Frequenza da 2 p/s a 2 Mc/s, utilizzabilissimo fino a 5 Mc/s.

Sensibilità 5mV/cm, a 5 Mc/s circa 15 mV/cm.

4. GM 5156.

Oscillografo per la gamma di bassa frequenza dell'acustica, dei fenomeni vibratori, e dell'industria meccanica.

L'apparecchiatura di vibrazione citata è stata concepita per questo oscillografo.

Gamma di frequenza 0,20 ÷ 10000 p/s. Sensibilità 1 mV/cm.

Concepito anche per la proiezione, la fotografia e la registrazione con i voluti accessori.

100 ESPERIENZE
CON L'OSCILLOGRAFO

1

Punto luminoso.

Oscillografo a raggi elettronici G.M. 3156.

Sullo schermo appare una macchia luminosa di cui si può regolare la sezione, la lucentezza e la posizione.

Nota. Per le esperienze dal n° 3 al n° 7 si possono utilizzare gli oscillografi GM 5652 o GM 3159.

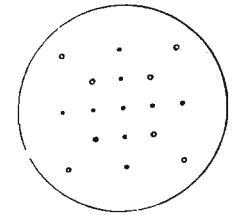
Lo scopo e la utilizzazione delle differenti manopole sono descritti in dettaglio nelle « istruzioni per l'uso » fornito con l'oscillografo.

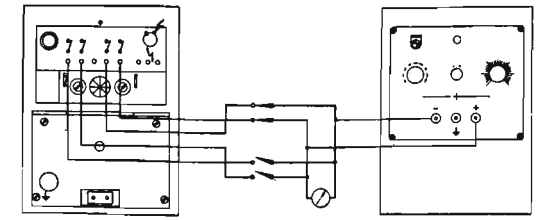
2

Proporzionolità della deviazione con la tensione applicata. Connessioni sul pannello posteriore dell'oscillografo.

Oscillografo a raggi elettronici G.M. 3156.

Scatola di alimentazione stabilizzata GM 4560 o batteria, ed eventualmente voltometro a corrente continua.



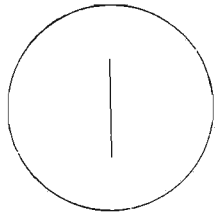


Studiare dapprima la deviazione nella direzione verticale e poi nella direzione orizzontale. Mostrare in seguito la somma vettoriale delle due azioni allorchè le due coppie di placche sono utilizzate simultaneamente.

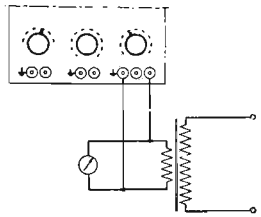
3

Linea continua.

Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.



Trasformatore da suoneria od analogo, fornente una tensione alternativa (2, 4 o 6 V), eventualmente un voltometro a corrente alternata.

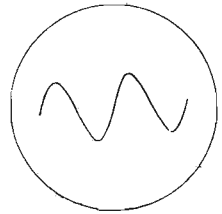


La base dei tempi è fuori del circuito. La lunghezza della linea ottenuta è proporzionale alla tensione alternativa applicata.

4

Più sinusoidi.

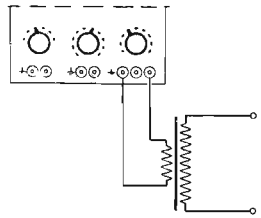
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.



Trasformatore (2, 4 o 6 V).

Base dei tempi in servizio, frequenza, per esempio, 12,5 p/s.

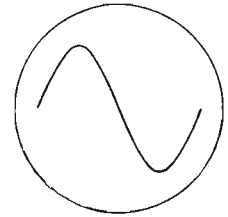
Per la sincronizzazione diretta sul-



la frequenza della rete, vedere le istruzioni per l'uso (C.A.).

5

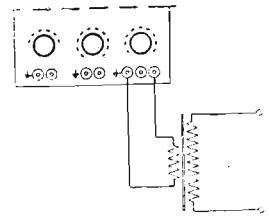
Sinusoide unica.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

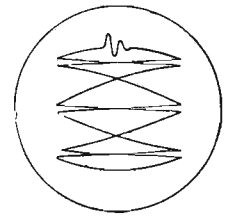
Trasformatore (2,4 o 6 volts).

Base del tempo regolata su 50 p/s.



6

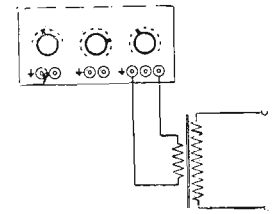
Base dei tempi « microscope ».



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

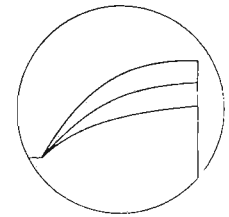
Trasformatore (2, 4 o 6 volts).

Base dei tempi regolata su 300 p/s.



7

Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.



Alimentazione stabilizzata GM 4560.

Condensatori (per esempio 0,1, 0,5, 1 μF).

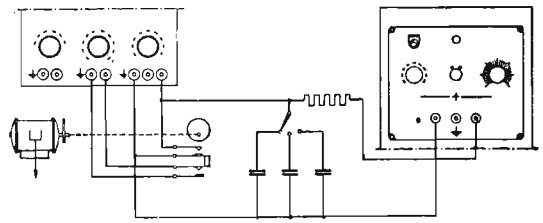
Resistenza di circa 0,1 M Ω.

Piccolo motore elettrico con disco eccentrico che apre e chiude periodicamente i contatti di un gioco di

molle di relais (velocità circa 750-1000 giri/min.).

Per la sincronizzazione mediante contatto esterno, vedi istruzioni per l'uso. Se si utilizza un motore sincrono (*) si può sopprimere il contatto di sincronizzazione, e la base del tempo viene ad essere sincronizzata direttamente sulla frequenza della rete.

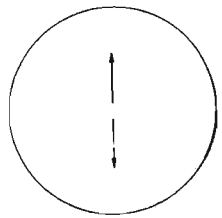
(*) Se non si dispone di un motore sincrono, si può utilizzare una dinamo da bicicletta a più poli: l'avviamento si effettua a mano.



8

FEM prodotta dallo spostamento di una calamita in una bobina. Il valore della FEM dipende dalla potenza della calamita e dalla velocità:

$$E = \frac{d\varphi}{dt}$$

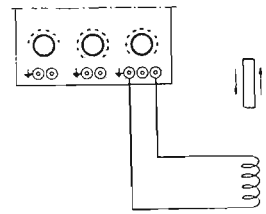


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Bobina.

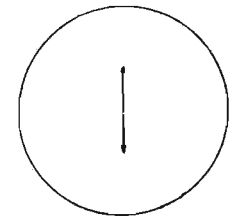
Calamita.

Poichè la sensibilità del GM 3156 è grandissima, un mV_{eff} per cm di altezza di immagine, il numero di spire non ha bisogno di essere elevato (1 spira è abbastanza). La base dei tempi è posta fuori del circuito.



9

Produzione di una tensione alternativa con lo spostamento di una calamita in una bobina.

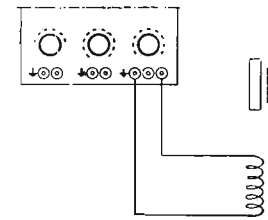


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Bobina.

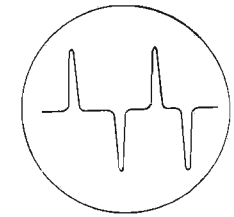
Barretta calamitata.

Regolando la base dei tempi su una debole frequenza, per esempio 0,5 p/s, si può vedere l'andamento di questa tensione $E = f(t)$.



10

Produzione di una tensione alternativa mediante chiusura ed apertura successiva di un circuito a corrente continua.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

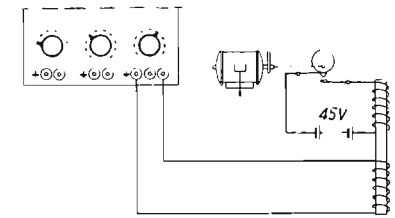
Due bobine.

Barretta di ferro dolce.

GM 4560 accumulatore o batteria.

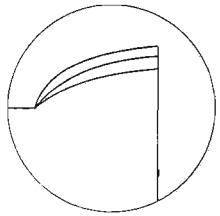
Piccolo motore sincrono con eccentrico.

Vedi anche esperienza n. 7.



11

Influenza dell'autoinduzione sulla velocità di variazione di corrente.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

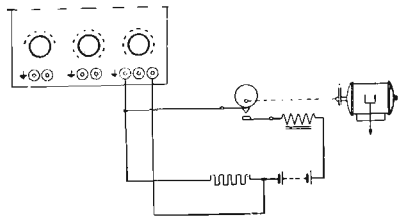
Autoinduzione di circa 6 H.

Resistenza di circa 3000 ohms.

GM 4560 accumulatore o batteria.

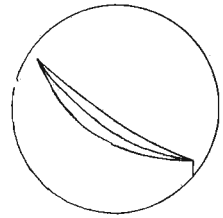
Piccolo motore sincrono con eccentrico.

Vedere anche l'esperienza n. 7.

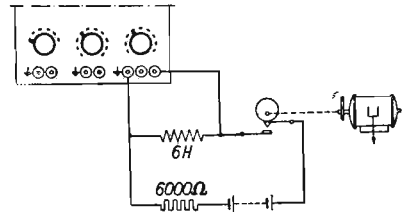


12

Influenza dell'autoinduzione sulla variazione di tensione ai capi di una bobina.

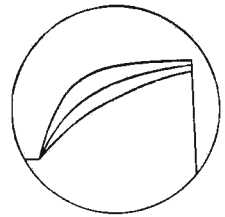


Come l'esperienza n. 11.



13

Variazione di tensione ai capi di un condensatore caricato attraverso una resistenza.

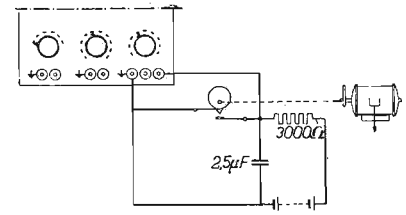


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Qualche condensatore (per esempio 0,5, 1, 2 μF).

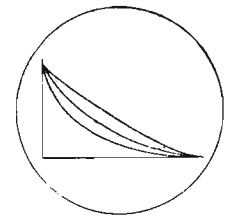
Alimentazione stabilizzata GM 4560, accumulatore o batteria.

Piccolo motore sincrono con eccentrico (vedere anche l'esperienza n. 7).

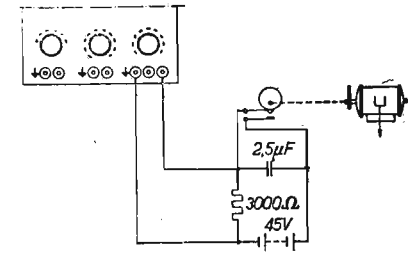


14

Variazione della corrente in un condensatore caricato attraverso una resistenza.

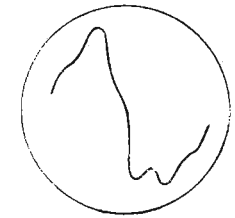


Come l'esperienza n. 13.



15

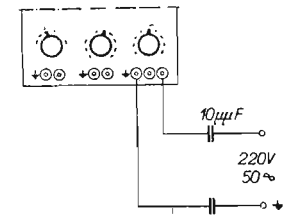
Importanza delle armoniche nella rete di illuminazione.

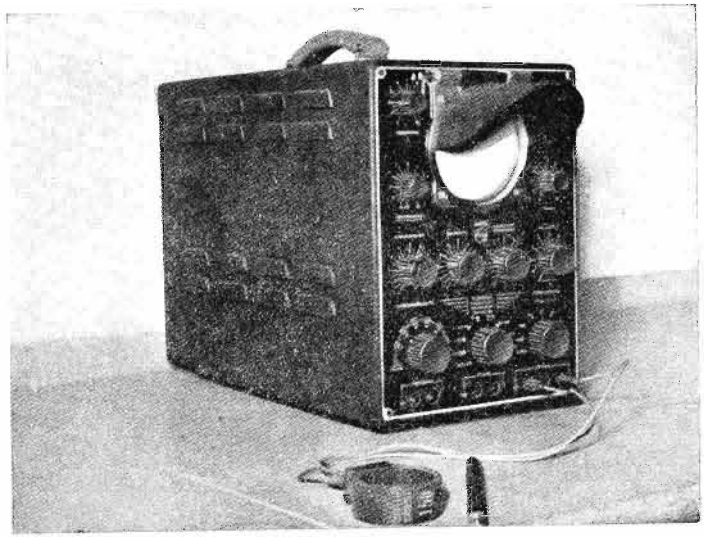


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

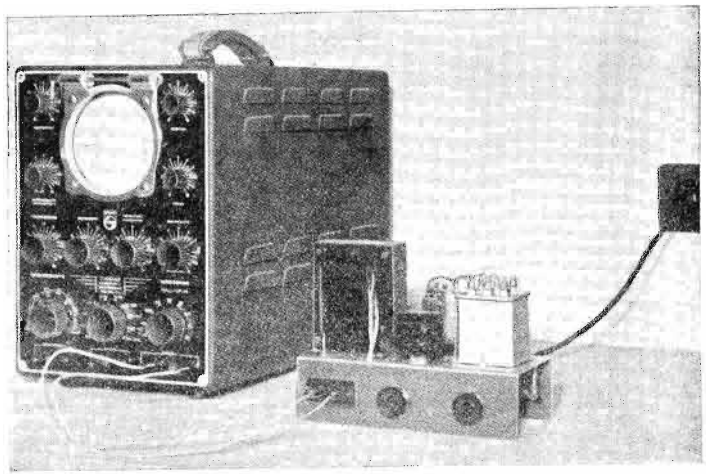
Due condensatori di circa 10 μμF.

Attenzione: La tensione di « claquage » deve essere sufficientemente elevata! Se si conosce la fase della rete messa a terra, si può sopprimere C_2.

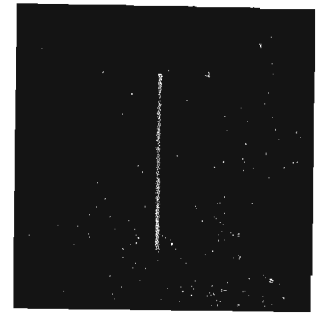




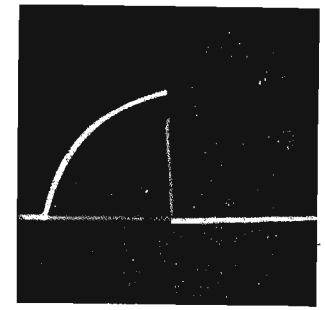
Esperienza 9



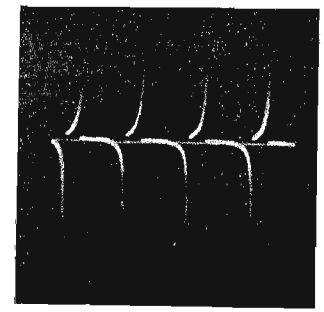
Esperienza 20



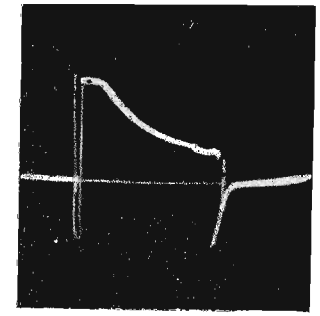
Esperienze 3, 8, 26, 68, 69, 70



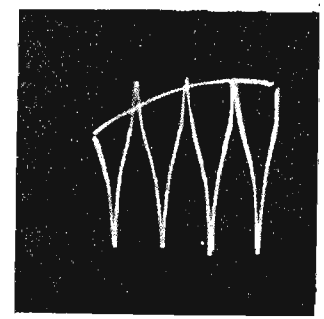
Esperienze 7 e 13



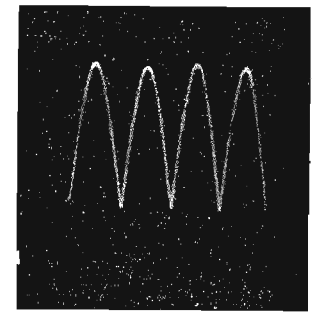
Esperienza 10



Esperienza 12



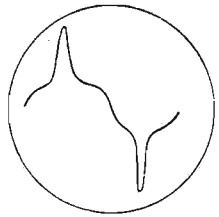
Esperienza 16



Esperienze 18 e 33

16

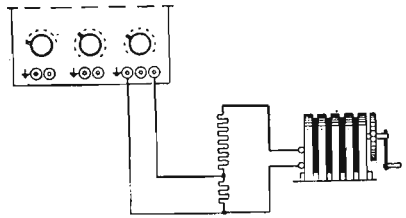
Tensione di magnete.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

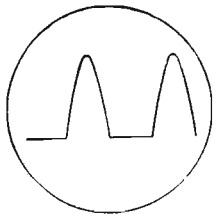
Magnete.

Potenziometro di valore elevato: circa 0 — 1 Megaohms.



17

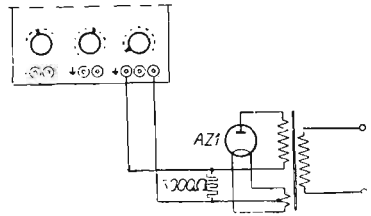
Raddrizzamento monofasato.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Raddrizzatore monoplacca. Per esempio AZ1, (utilizzarne una metà).

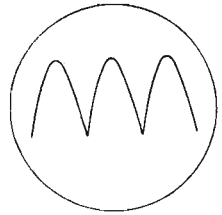
Resistenza di circa 3000 homs.



Trasformatore secondario circa 200 volts e 4 volts.

18

Raddrizzamento bifasato.

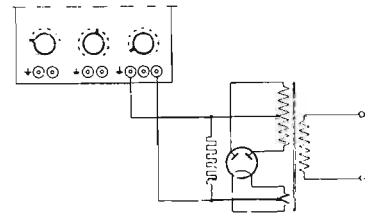


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Raddrizzatore biplacca. Per esempio AZ1.

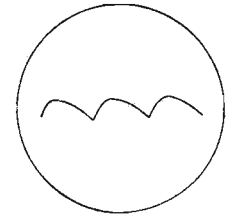
Resistenza di circa 3000 Ω.

Condensatore di circa 1 μF.



19

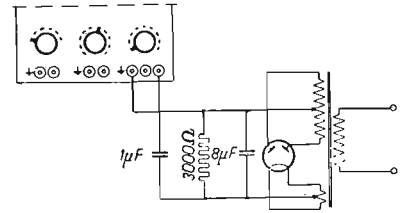
Influenza del condensatore sul filtraggio.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Raddrizzatore bifasato. Per esempio AZ1.

Condensatore di circa 8 μF.



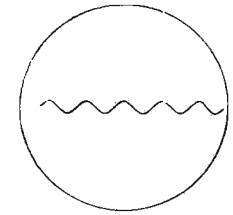
Resistenza di circa 3000 Ω.

Condensatore di circa 1 μF.

Trasformatore di circa 2 × 200 volts e 4 volts.

20

Influenza di un condensatore e di una bobina sul filtraggio.



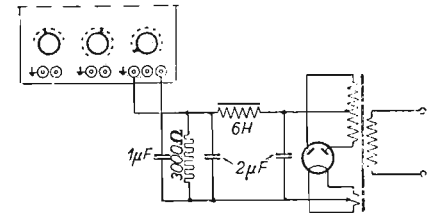
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Raddrizzatore biplacca. Per sempio AZ1.

Condensatore di circa 2 μF (doppio).

Bobina di autoinduzione di circa 6 H.

Resistenza di circa 3000 Ω.

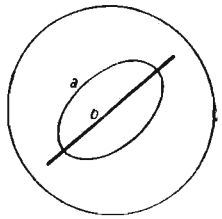


21

Compensazione di fase.

a) non compensata;

b) compensata.



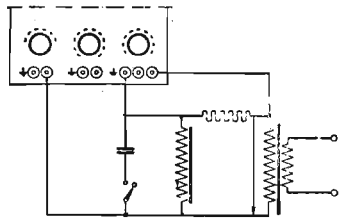
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Bobina di circa 8 H.

Condensatore di circa 1,27 μF.

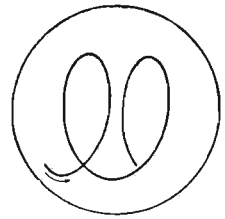
Resistenza di circa 30 Ω.

Trasformatore con circa 50 V al secondario.



22

Determinazione dello sfasamento in ritardo rispetto al senso di rotazione dell'ellisse.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

a) parte anteriore dell'oscillografo.

b) parte posteriore dell'oscillografo.

Trasformatore secondario circa 50 V.

Resistenza di circa 30 Ω.

Sostituire il condensatore di 1 μF dell'esperienza 21 con una bobina di circa 8 H.

L'elisse ruota nell'altro senso.

23

Determinazione nello sfasamento in anticipo in base al senso di rotazione dell'ellisse.

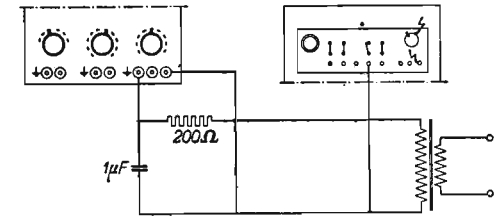
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

a) parte anteriore } dell'oscillografo.
b) parte posteriore }

Trasformatore circa 50 V. al secondario.

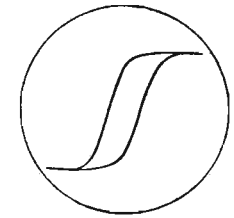
Condensatore di circa 1 μF.

Resistenza di circa 30 Ω.



24

Ciclo d'isteresi.



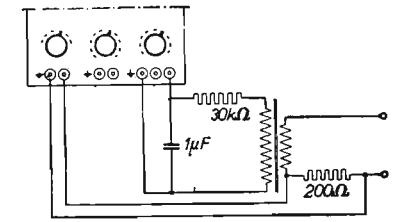
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Trasformatore, tensione circa 10 V. al secondario.

Resistenza inserita nel primario del trasformatore, ai capi della quale deve verificarsi una caduta di tensione di circa 50 V.

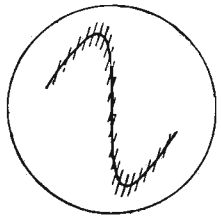
Resistenza di circa 30000 Ω.

Condensatore di circa 1 μF.



25

Formazione di scintille alle lamelle di un collettore.

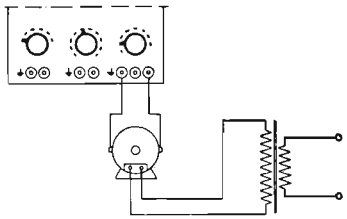


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Motore a collettore bipolare.

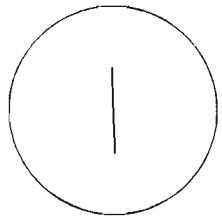
Trasformatore di accoppiamento.

Se si raggiunge la velocità di sincronismo (3000 giri/min) le punte dovute alle scintille delle lamelle risultano immobili sulla figura. Il numero delle punte corrisponde al numero delle lamelle del collettore.



26

Determinazione della direzione del campo di fuga di un motore.

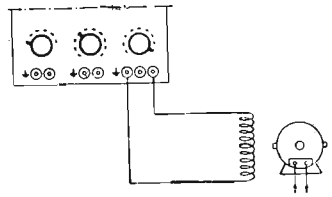


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Motore.

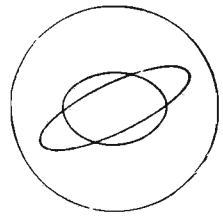
Bobina composta di qualche spira.

Facendo ruotare la bobina ad una certa distanza dal motore, si osserva un massimo per la linea verticale disegnata sullo schermo del tubo. La posizione della bobina in tale istante indica la direzione del campo di fuga.



27

Cos φ di un motore per i diversi carichi.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

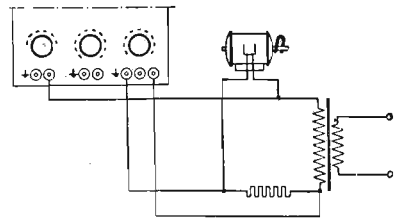
Piccolo motore a 50 V o 220 V circa.

Nastro di feltro.

Resistenza di circa 30 Ω.

Trasformatore, secondario circa 50 V.

Appoggiando il nastro di feltro contro l'albero del motore in rotazione, lo si può frenare; ciò modifica l'ellisse.

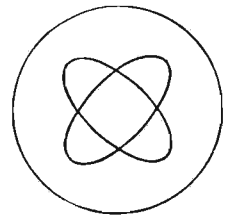


28

Misura della fase su una rete trifase.

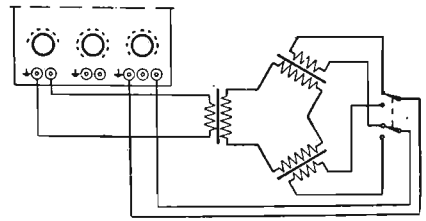
a) tra le fasi I e II.

b) tra le fasi I e III.



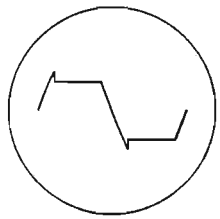
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Tre trasformatori, ciascuno con 50 V al secondario.



29

Tensione di un tubo al neon.



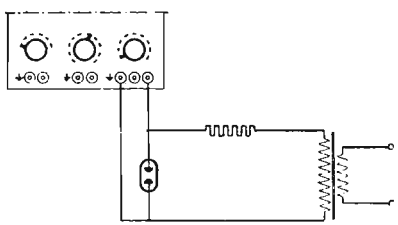
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Tubo al neon 4687.

Trasformatore con secondario di circa 80 V.

Resistenza di circa 50000 Ω.

Se la tensione secondaria del trasformatore è più elevata, aumentare la resistenza.

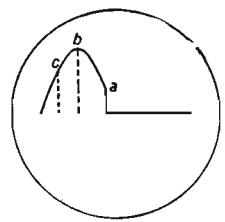


30

Tensione ai capi di un triodo a gas.

a) tensione di griglia leggermente sfasata in anticipo sulla tensione anodica.

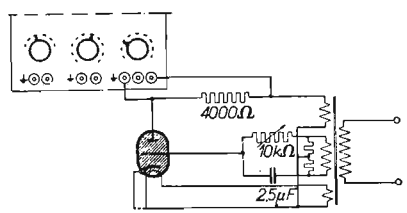
b) tensione di griglia sfasata di quasi 90° in anticipo sulla tensione anodica.



c) tensione di griglia sfasata di più di 90° in anticipo sulla tensione anodica.

Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Trasformatore con secondario di circa 150 V, 25 V e 6 V o trasformatori separati per ogni tensione secondaria.



Potenziometro di circa 10000 ohms.

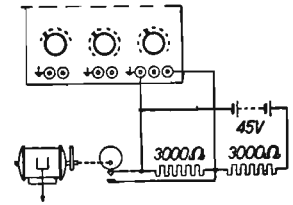
Condensatore di circa 2-3 μF.

Triodo a gas (EC 50).

Resistenza di circa 4000 ohms.

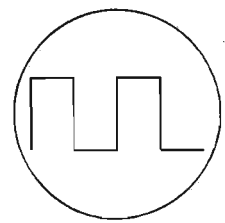
Resistenza di circa 3000 ohms.

Ruotando il potenziometro si può regolare a volontà il punto di innesco.



31

Tensione rettangolare.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

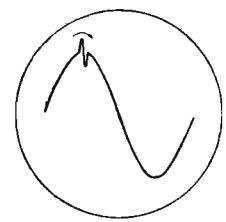
Accumulatore o batteria.

Serie di lame da relais.

Piccolo motore sincrono con eccentrico.

32

Determinazione dell'invecchiamento di un motore.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Trasformatore con secondario di circa 2 V.

Captatore magnetico di vibrazioni GM 5527.

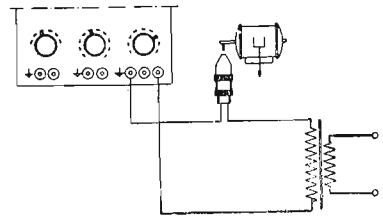
Motore e collettore.

Cronometro.

Base dei tempi sincronizzata di-

rettamente sulla frequenza della rete.

Per una velocità di 2880 giri/min. per es. il segnale indicatore passa due volte al secondo, e lo scorrimento è dunque: 2 × 60 = 120 giri/min.

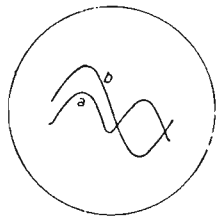


33

Influenza della premagnetizzazione.

a) senza premagnetizzazione.

b) con premagnetizzazione.

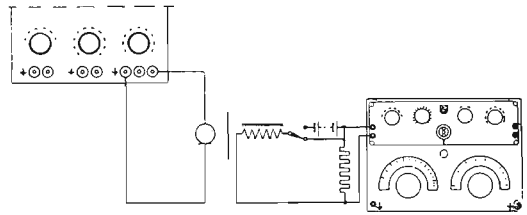


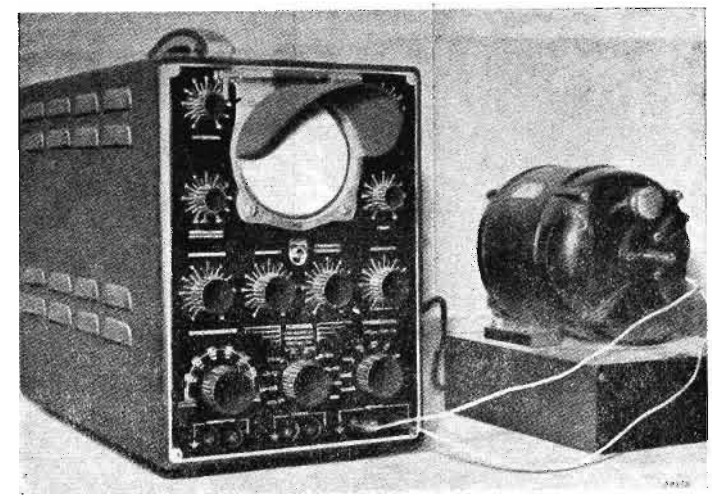
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Bobina con nucleo di ferro e lama vibrante (per esempio telefono, ma senza calamita).

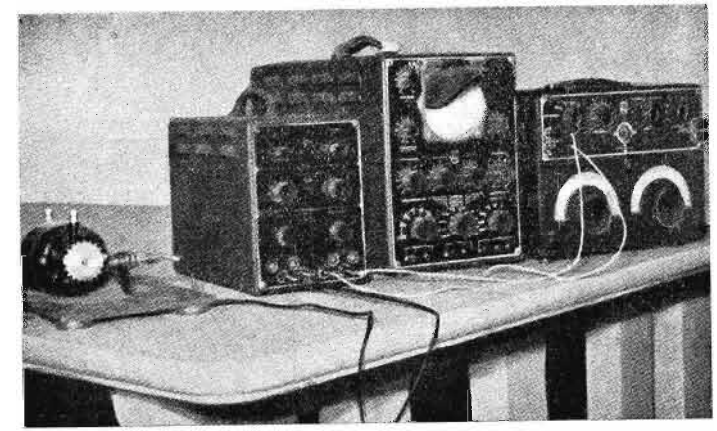
Generatore B.F. GM 2307, microfono (o captatore magnetico GM 5527).

Resistenza di circa 1000 ohms.

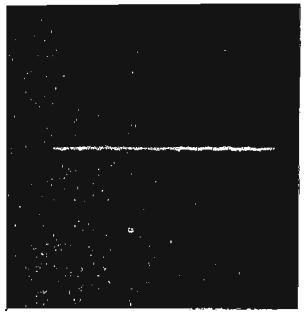




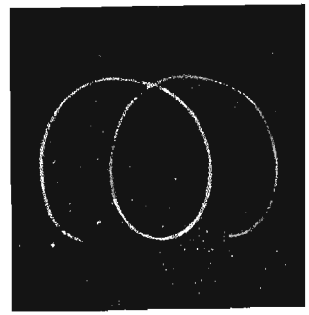
Esperienza 25



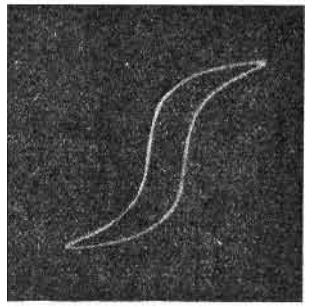
Esperienza 46



Esperienza 20

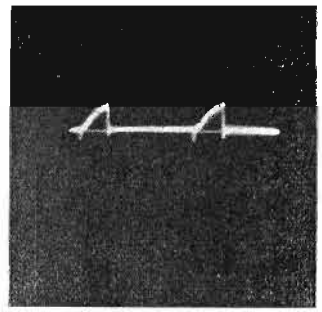


Esperienza 22

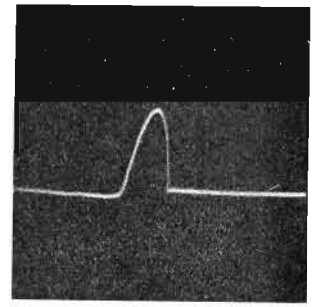


Esperienza 24

Esperienza 29



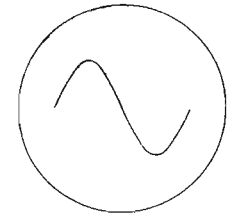
Esperienza 30

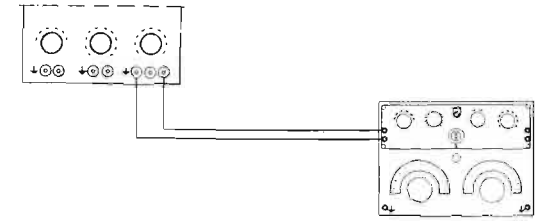


Esperienze 30 e 92

34

Determinazione della frequenza base dei tempi.





Oscillografo GM 3156.

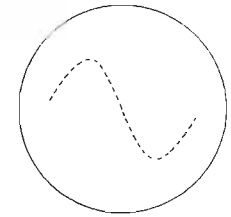
Generatore B.F. GM 2307.

Regolare il generatore in modo che si vedano sullo schermo un certo numero di sinusoidi immobili.

La frequenza base dei tempi è uguale alla frequenza del generatore divisa per il numero di sinusoidi.

35

Determinazione della frequenza di una tensione alternata incognita.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

a) parte anteriore
b) parte posteriore
dell'oscillografo.

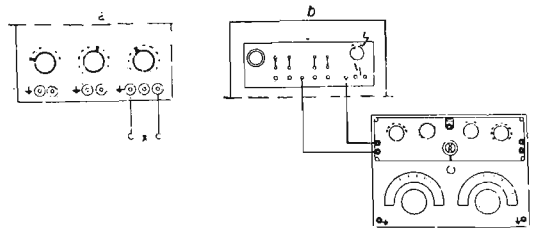
Generatore B.F. GM 2307.

Per una frequenza di 1000 p/s la distanza fra i tratti della punteggiata è di un millisecondo.

Per l'utilizzazione dell'interruzione periodica del fascio, vedi istruzioni per l'uso.

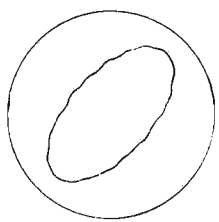
La frequenza incognita è applicata in X.

Si può prendere per esempio la frequenza della rete di 50 p/s (4 volts di un trasformatore per esempio).



36

Determinazione della frequenza di una tensione alternata incognita.

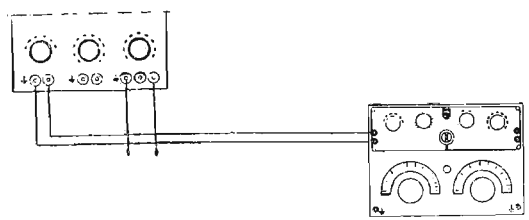


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Generatore B.F. GM 2307.

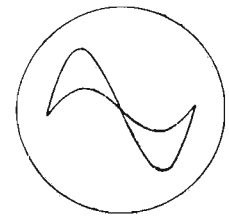
Ruotando la manopola del generatore si può ottenere sullo schermo una specie di ellisse.

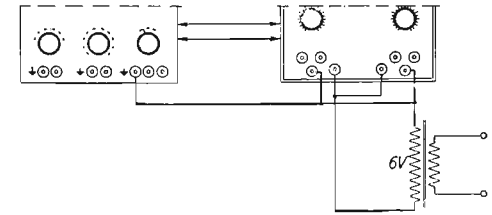
In questo momento la frequenza del generatore è uguale a quella della vibrazione incognita.



37

Due tensioni in fase.

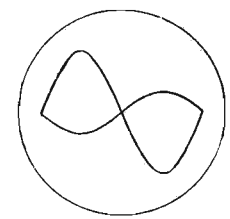




Le ampiezze sono differenti.

38

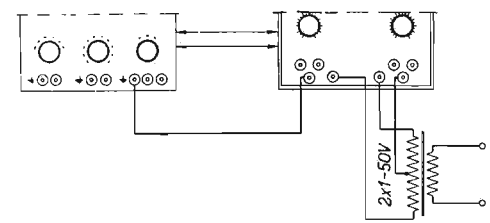
Due tensioni in opposizione di fase.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

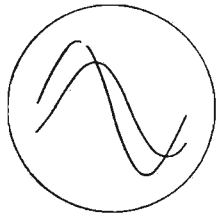
Commutatore a raggi elettronici GM 4580.

Trasformatore, secondario di circa 3,5 e 8 V (per esempio trasformatore da suoneria).



39

Corrente in ritardo sulla tensione.



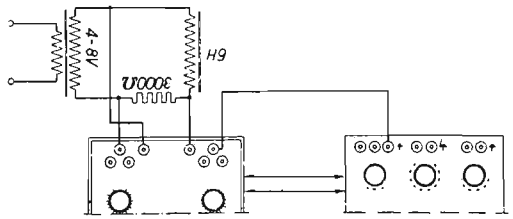
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Commutatore elettronico GM 4580.

Bobina di circa 6 H.

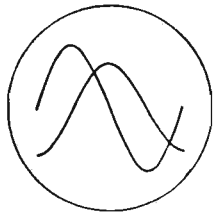
Resistenza di circa 3000 ohms.

Trasformatore, secondario di circa 6 V.



40

Corrente in anticipo sulla tensione.

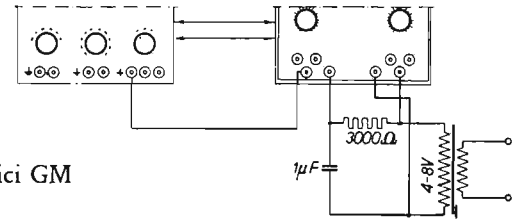


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Commutatore elettronico GM 4580.

Condensatore di circa 1μF.

Resistenza di circa 3000 ohms.



41

Determinazione dello scorrimento di un motore.

Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Commutatore elettronico GM 4580.

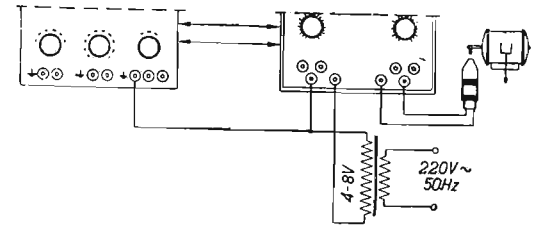
Captatore magnetico di vibrazioni GM 5537.

Motore asincrono bipolare (velocità circa 3000 giri/min.) con spazzola in ferro fissata sull'albero.

Trasformatore, secondario di 2-8 volts.

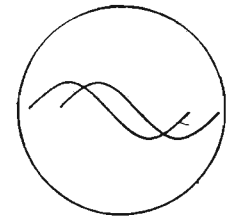
Cronometro.

Il numero di passaggi degli impulsi per minuto indica lo scorrimento in giri al minuto.



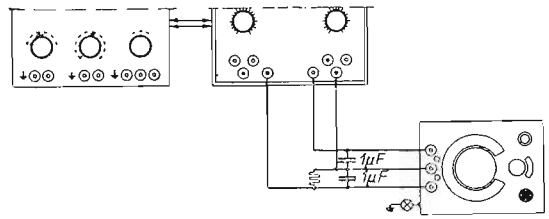
42

Sfasatura fra due rami di un ponte di Wheastone *dovuta ad un condensatore con resistenza in parallelo o in serie. Le ampiezze non sono regolate sullo stesso valore (con il GM 4580).*



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

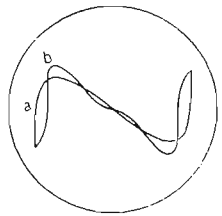
Commutatore elettronico GM 4580.
Philoscopio GM 4140.
Due condensatori di circa 1 μF.
Resistenza di circa 10000 ohms.
Eventualmente un condensatore elettrolitico.



43

Determinazione della velocità di un motore mediante una ruota fonica montata sull'albero.

a) generatore B.F.
b) ruota fonica.



La commutazione si può fare anche col GM 4570.

Si vedono allora le due immagini simultaneamente.

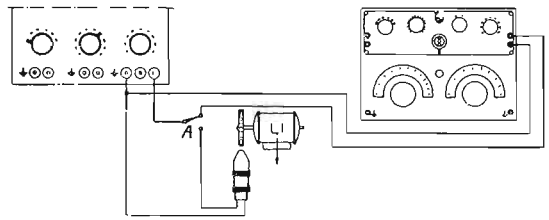
Generatore B.F. GM 2307.

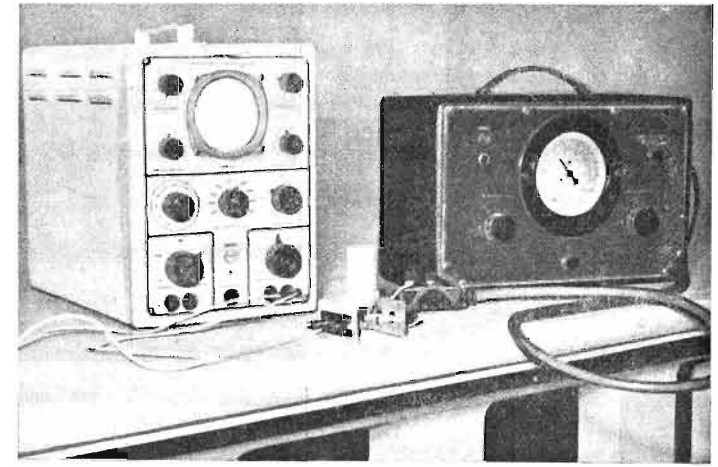
Captatore magnetico delle vibrazioni GM 5527.

Motore con ruota dentata in ferro fissata sull'albero.

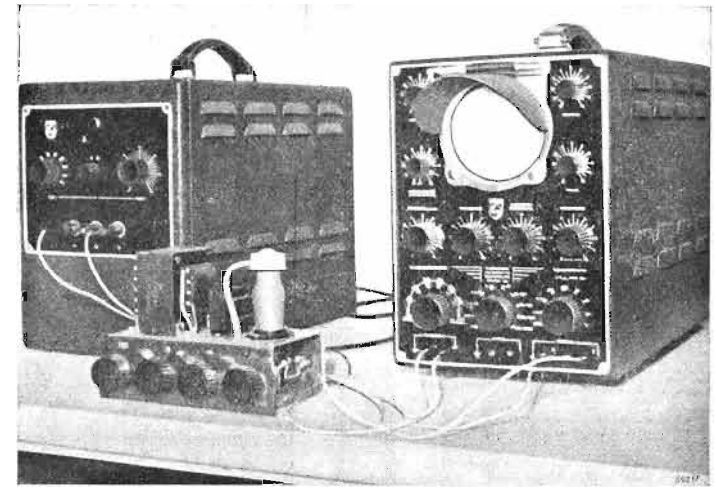
Commutatore unipolare A.

Immobilizzare dapprima l'immagine della ruota fonica, poi quella del generatore B.F. con la stessa base dei



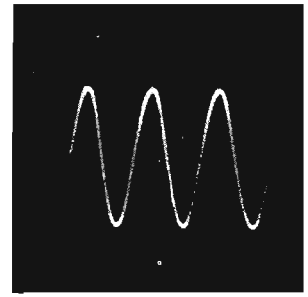


Esperienza 53

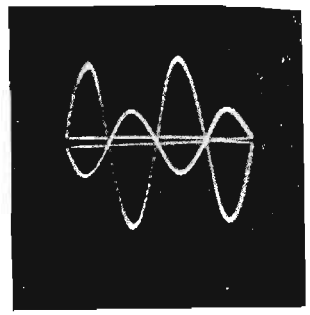


Esperienze 55, 56 e 57

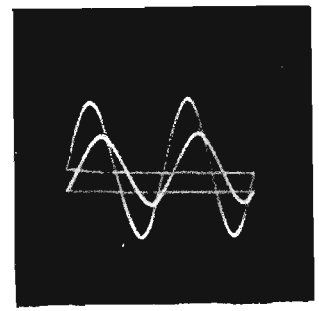
Esperienza 31



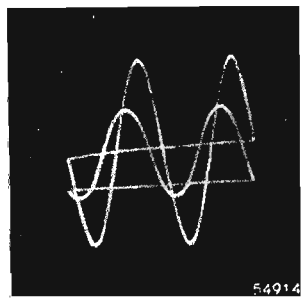
Esperienze 33, 53 e 71



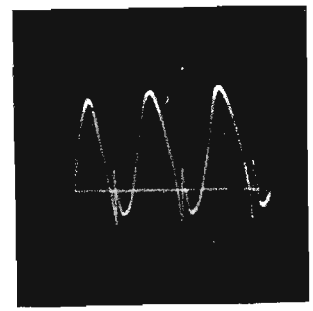
Esperienza 38



Esperienza 39



Esperienza 40



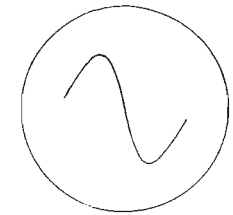
Esperienza 41

tempi. Controllare invertendo A. Leggere in seguito la frequenza del generatore.

La velocità del motore è uguale a questa frequenza divisa per il numero dei denti della ruota.

44

Determinazione della velocità di un motore.

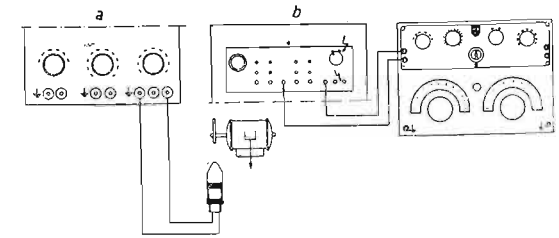


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

b) parte posteriore } dell'oscillografo.
a) parte anteriore }

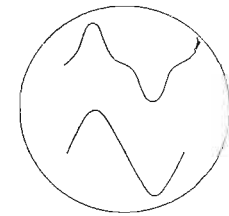
Generatore B.F. 2307 (per la modulazione del fascio, vedi istruzioni per l'uso).

Piccolo motore con eccentrico in ferro montato sull'asse.



45

Determinazione della velocità di un motore.



Sull'albero del motore di cui si vuol conoscere la velocità di rotazione viene montata una ruota fonica. La ruota fonica è una ruota dentata circolare in ferro. I denti passano a piccola distanza da un pick-up GM 5527. La tensione alternativa di un GM 2307 viene applicata a uno dei

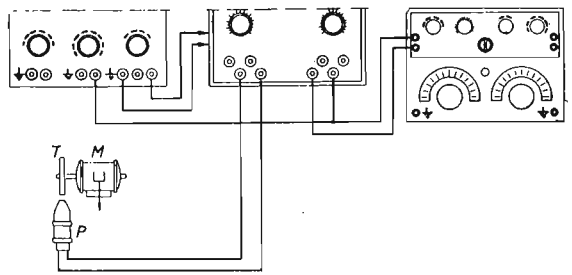
canali di amplificazione di un GM 4580 e ai capi di sincronizzazione esterna dell'oscillografo, mentre la tensione alternativa prodotta nel pick-up dal passaggio dei denti della ruota fonica è applicata al secondo canale di amplificazione del GM 4580.

La frequenza del generatore B.F. GM 2307 è regolata in modo che si vedano sullo schermo lo stesso numero di sinusoidi che per la tensione della ruota fonica, per esempio una ciascuna.

Si ha allora

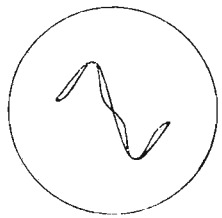
$$n = \frac{\text{frequenza GM 2307}}{\text{n.° denti ruota fonica}} \text{ gi/min.}$$

M = motore
E = ruota fonica
P = pick-up GM 5527
GM 3156 (GM 3159)
GM 4580 (GM 4581)
GM 2307.



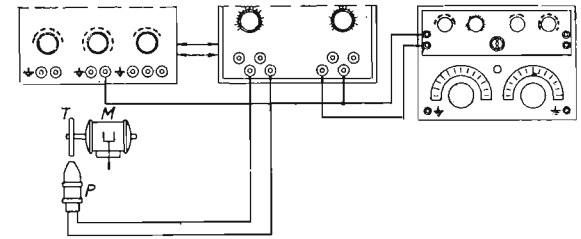
46

Determinazione della velocità di un motore.



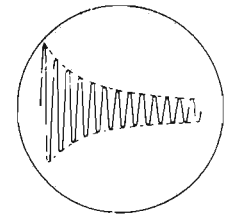
Oscillografo a raggi elettronici GM 5652.

Generatore B.F. GM 2307.
Commutatore elettronico GM 4580.
Captatore elettronico GM 4580.
Captatore magnetico di vibrazione GM 5527.
Motore con ruota dentata in ferro fissata sull'albero.
Sincronizzare la base dei tempi dell'oscillografo sulla frequenza del generatore B.F. e regolare questa frequenza in modo da immobilizzare l'immagine della ruota fonica. Il numero di giri/min. è uguale alla frequenza del generatore divisa per il numero dei denti della ruota fonica.

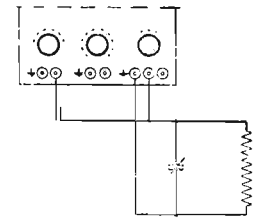


47

Vibrazioni poco smorzate.

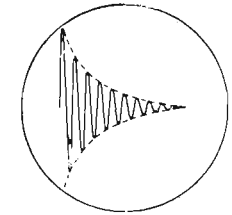


Oscillografo a raggi elettronici GM 5652, GM 3159 o 3156.
Bobina a nido d'ape a 250 spire.
Condensatore ad aria di circa 500 μμF.
Condensatore di accoppiamento di circa 20 μF.

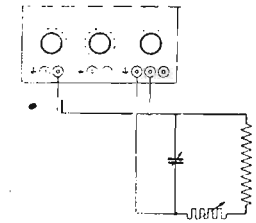


48

Vibrazioni fortemente smorzate.

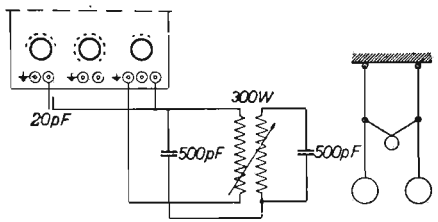


Oscillografo a raggi elettronici GM 5652, GM 3159 o GM 3156.
Bobina a nido d'ape a 250 spire.
Condensatore in aria di circa 500 μμF.



Condensatore di accoppiamento di circa 20 μF.
Resistenza variabile di circa 10000 ohms.

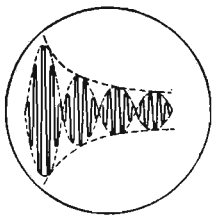
49



Filtro di banda.

a) oscillazione dell'energia scambiata fra i due circuiti.

b) analogo a due pendoli uguali accoppiati.



Oscillografo a raggi elettronici GM 5652.

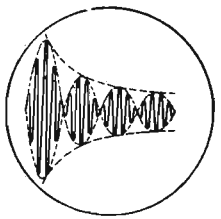
Filtro di banda variabile costituito da due bobine accoppiate 1 g e 12 di 250 spire a nido d'ape.

Due condensatori d'accordo in aria da 250 pF ciascuno.

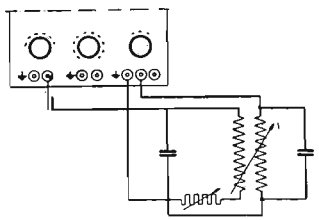
Condensatore d'accoppiamento costituito da due fili isolati avvolti l'uno sull'altro sulla lunghezza di 1 cm.

50

Trasmissione dell'energia nel secondo circuito del filtro di banda (sfasatura 85°).

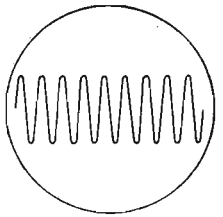


Come al n.° 49.



51

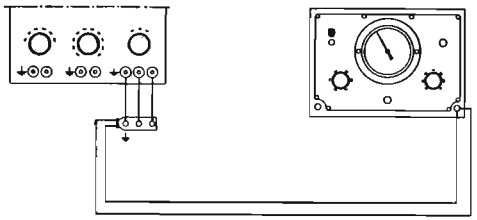
Onda portante non modulata.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3159.

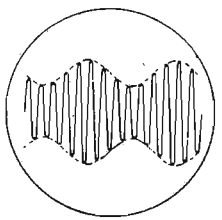
Oscillatore H.F. GM 2882 o GM 2883.

Frequenza circa 100 kp/s.



52

Onda portante. Modulata.

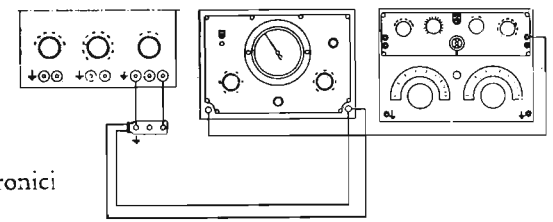


Oscillografo a raggi elettronici GM 3159.

Oscillatore H.F. GM 2882 o GM 2883.

Frequenza circa 100 kp/s.

Frequenza di modulazione 400

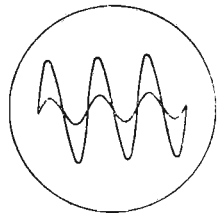


p/sec., per modulazione interna del GM 2882.

Utilizzando il generatore B.F. GM 2307 per la modulazione esterna a 10.000 p/s, si può vedere la modulazione in ampiezza per ogni periodo.

53

Risonanza in parallelo.



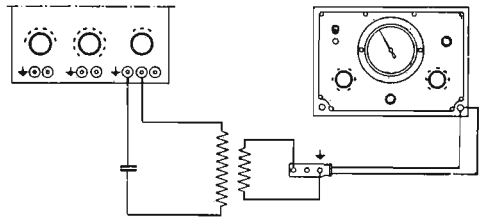
Oscillografo a raggi elettronici GM 3159/GM 5652.

Bobina a nido d'ape di circa 250 spire.

Condensatore variabile di circa 250 pF.

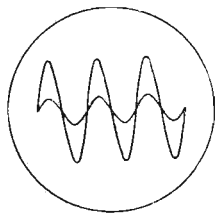
Bobina di accoppiamento a nido d'ape di circa 100 spire.

Oscillatore H.F. GM 2883.

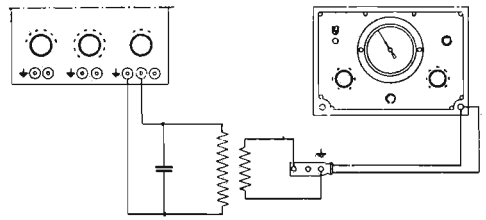


54

Risonanza in serie.

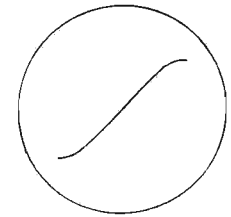


Come al n.° 53.



55

Caratteristica statica e dinamica, corrente anodica, tensione di griglia di un triodo.



Apparecchi da usare:

GM 3156 (GM 3159).

GM 4560.

Apparecchi ausiliari.

Scopo:

Dimostrare la possibilità di far vedere le caratteristiche di un tubo mediante l'oscillografo.

Trasformatore.

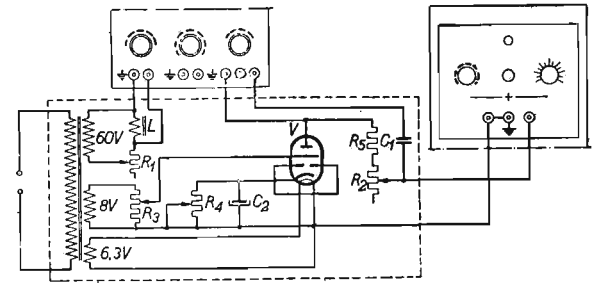
Secondario: tensione di accensione 6,3 V;

tensione alternativa di griglia 6-10 V;

deviazione orizzontale 60 V.

R_1 = 10.000 ohms variabile.
R_2 = 10.000 ohms variabile.
R_3 = 10.000 ohms variabile.
R_4 = 2.000 ohms variabile.
R_5 = 100-200 ohms.
C_1 = 2 μF.
C_2 = 25 μF.
L = circa 6 H.

L'apparecchio ausiliario comporta un triodo montato in modo tale che si possa vedere sull'oscillografo il valore istantaneo della corrente alternata anodica in funzione della tensione di griglia. La tensione alternata permette di ottenere dei valori della tensione di griglia rapidamente variabili, con delle variazioni corrispondenti della corrente anodica. La tensione alternativa anodica così ottenuta è applicata alle placche di deviazione orizzontali dell'oscillografo attraverso un condensatore di 2



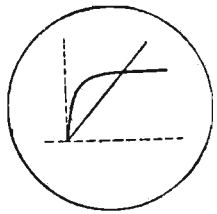
μF. Si ottiene così una misura della corrente alternativa anodica. Lo spostamento orizzontale del fascio elettronico deve aver luogo in fase e con la stessa frequenza della corrente alternata anodica. Poichè le tensioni sono ottenute partendo dalla rete, la frequenza è la stessa. Per ottenere una correzione di fase si è prevista una bobina L in serie con R_1.

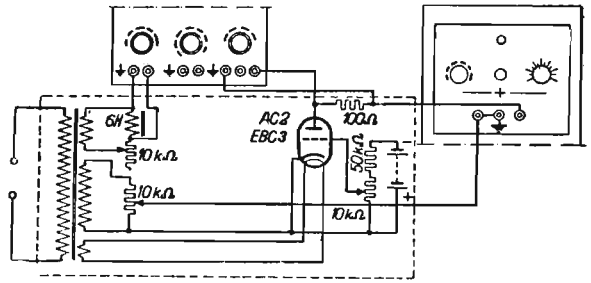
56

Portando la resistenza R_2 al valore zero, si ottiene una caratteristica statica; aumentando R_2 si possono avere differenti caratteristiche dinamiche.

57

La caratteristica corrente anodica Tensione anodica di un triodo.





58

Curva di risonanza di un circuito oscillante. Piccolo smorzamento.

Oscillografo a raggi elettronici GM 3159 o GM 5652.

Oscillatore H.F. GM 2882 (frequenza circa 4,5 mp/s).

Modulatore di frequenza GM 2881.

Bobina a nido d'ape di circa 250 spire.

Condensatore in aria di circa 250 pF.

Bobina di accoppiamento di circa 100 spire.

59

Curva di risonanza di un circuito oscillante. Grande smorzamento.

Oscillografo a raggi elettronici GM 3159 o GM 5652.

Oscillatore H.F. GM 2882 (frequenza circa 4,5 mp/s).

Modulatore di frequenza GM 2881.

Bobina a nido d'ape di circa 250 spire.

Condensatore in aria di circa 250 pF.

Bobina d'accoppiamento a nido d'ape di circa 100 spire.

Resistenza di circa 50.000 ohms.

La curva di risonanza è molto meno acuta di quella relativa alla esperienza 58.

60

Curva di risonanza di un filtro di banda. Debole accoppiamento.

Oscillografo a raggi elettronici GM 3159 o GM 5652.

Oscillatore H.F. GM 2882 (frequenza circa 4,5 mp/s).

Filtro di banda variabile: due bobine accoppiate, di circa 250 spire a nido d'ape.

Due condensatori d'accordo in aria di circa 250 pF ciascuno.

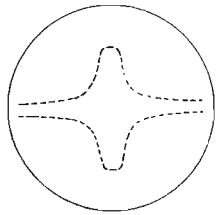
Bobina di accoppiamento a nido d'ape di circa 100 spire.

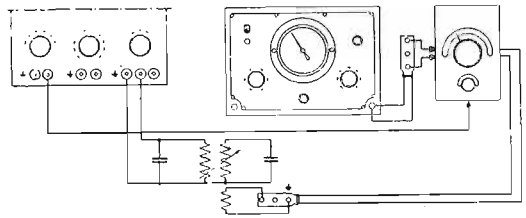
61

Curva di risonanza di un filtro di banda. Accoppiamento critico.

Come al numero 60.

Il vertice della curva di risonanza è meno acuto, la larghezza di banda è maggiore.

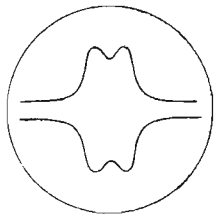


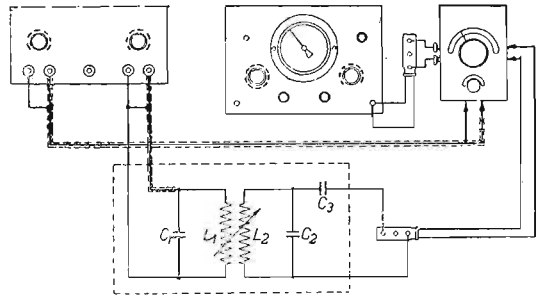


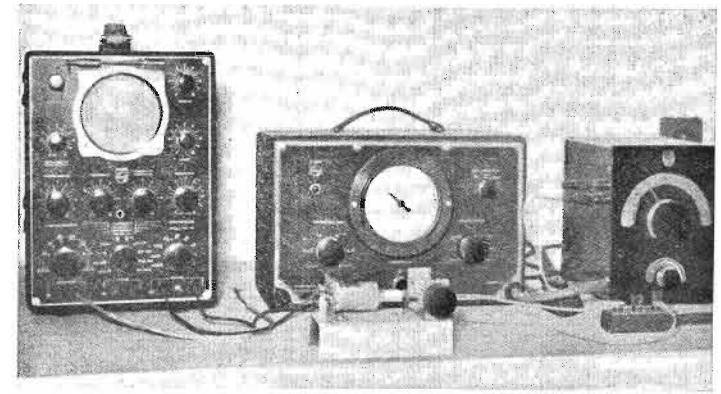
62

Curva di risonanza di un filtro di banda. Accoppiamento superiore all'accoppiamento critico.

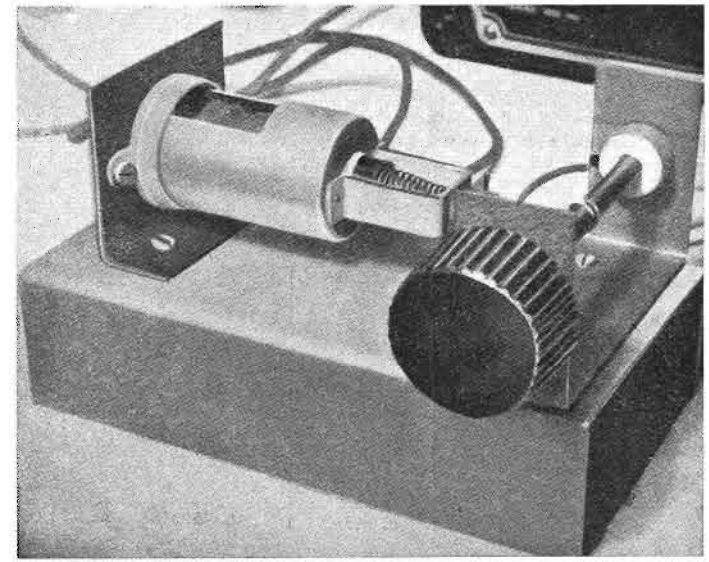
Come al numero 60.



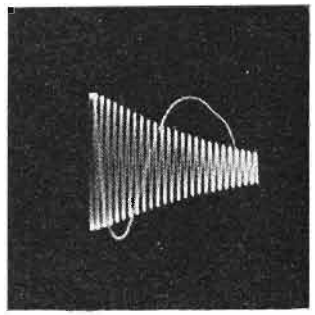




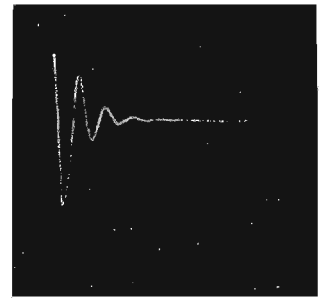
Esperienza 62



Esperienza 62 - Dettaglio

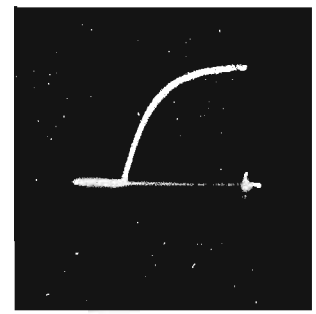


Esperienza 47

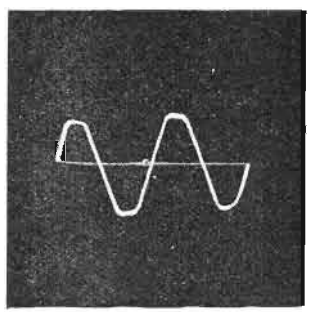


Esperienza 48

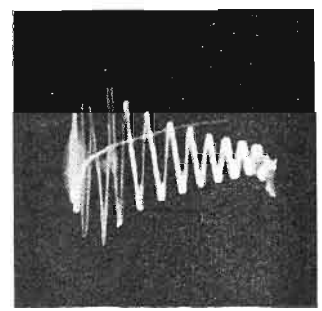
Esperienza 55



Esperienza 58



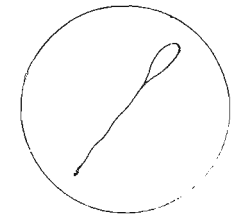
Esperienza 56



Esperienza 66

63

Esame della distorsione armonica di un amplificatore. Curva di risposta di un amplificatore.



Oscillografo a raggi elettronici GM 5652, GM 3156 o GM 3159.

Eventualmente alimentazione stabilizzata GM 4560.

Generatore B.F. GM 2307.

Trasformatore GM 2307, secondario 4 o 6,3 volts.

Amplificatore o tubo amplificatore.

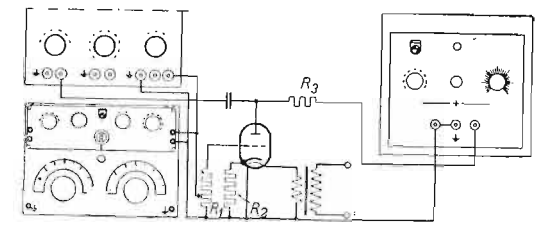
Resistenza R_1 di circa 1 Megaohm.

Resistenza R_2 di catodo.

Resistenza R_3 di adattamento.

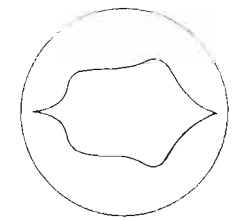
R_2 e R_3 sono differenti per ogni tipo di tubo.

Condensatore di circa 10.000 pF.



64

Curva di risposta di un amplificatore.



Oscillografo a raggi elettronici GM 5652 o GM 3159.

Oscillatore H.F. GM 2882 o GM 2883.

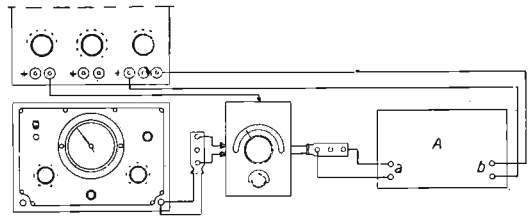
Modulatore frequenza GM 2881.

Amplificatore (A):

a) entrata;

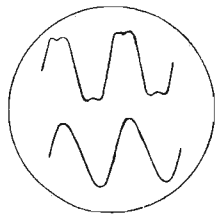
b) uscita.

Come amplificatore si può ad esempio utilizzare il GM 4570.



65

Distorsione di un amplificatore dovuta a sovraccarico.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Commutatore elettron. GM 4580.

Generatore B.F. GM 2307.

Eventualmente alimentazione stabilizzata GM 4560.

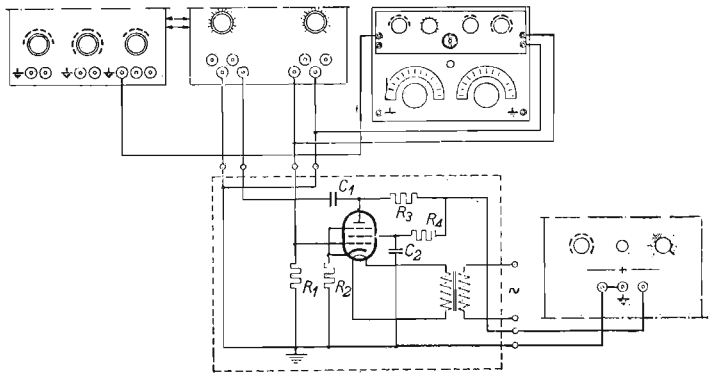
Amplificatore o tubo amplificatore.

Resistenza R_1 di circa 1 Megaohm.

Resistenza R_2 di catodo.

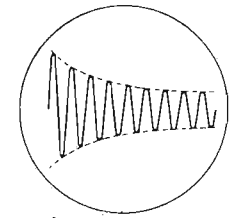
Resistenza R_3 di adattamento.

R_2 e R_3 sono differenti per ogni tipo di tubo.



66

Vibrazioni meccaniche smorzate.

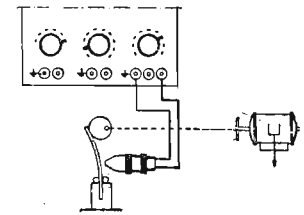


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Lamina di acciaio per molle.

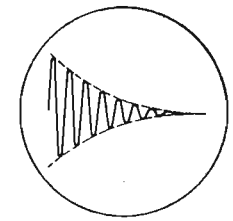
Piccolo motore con eccentrico.

(Per il motore vedi anche l'esperienza 7).



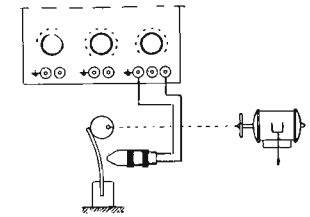
67

Vibrazioni meccaniche fortemente smorzate.



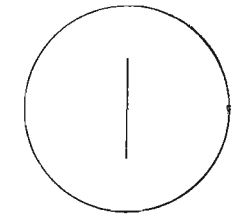
Smorzare con le dita o con dei pezzetti di feltro dalla parte in cui la lama è incastrata.

Captatore di vibrazioni GM 5527.



68

Misura di ampiezza.



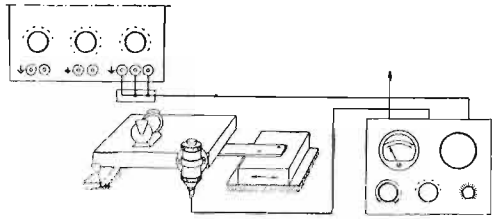
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

(Captatore dinamico di vibrazioni GM 5520, cassetta campioni di ampiezza GM 5521).

Banco di vibrazione con piccolo motore.

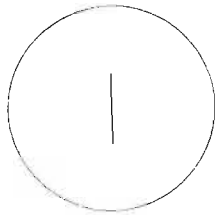
Il banco di vibrazione è costituito di una solida tavola di legno di circa cm. 40 × 20 × 5, articolata in S mediante una cerniera e supportata dal lato opposto dalla lamina V di cui si può regolare la tensione.

Il motore M è di preferenza con albero a due sporgenze e due pesi eccentrici identici.



69

Determinazione della direzione di vibrazione del captatore; quando questo è spostato dell'angolo α dalla direzione che da luogo alla massima deviazione, questa deviazione è ridotta del fattore cos. α.

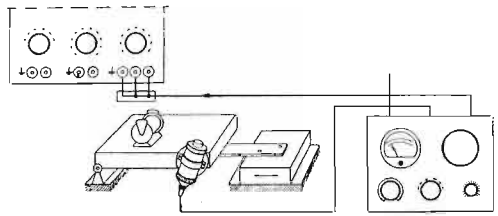


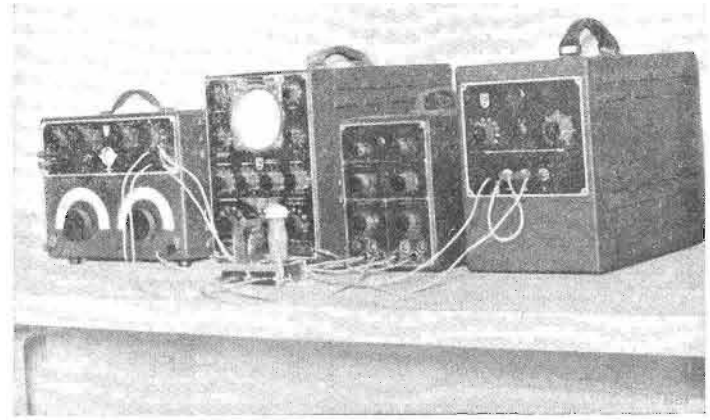
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Captatore dinamico di vibrazioni GM 5520.

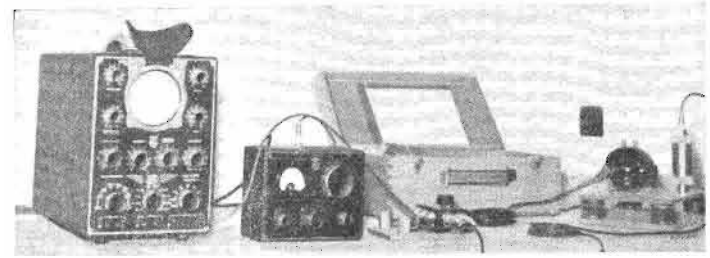
Cassetta campioni di ampiezza GM 5521.

Banco di vibrazione con piccolo motore (vedi esperienza 68).

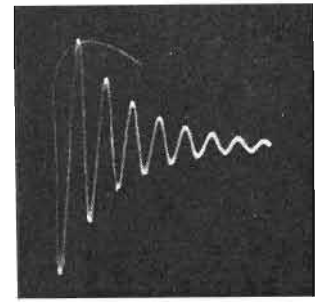




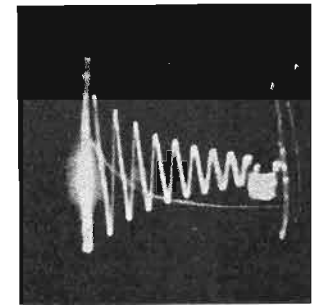
Esperienza 65



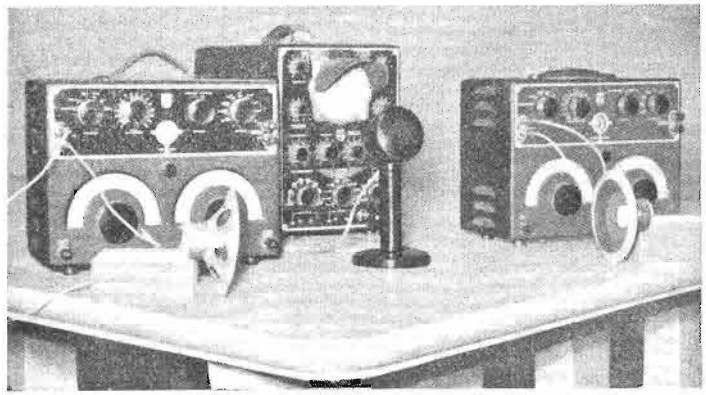
Esperienza 68



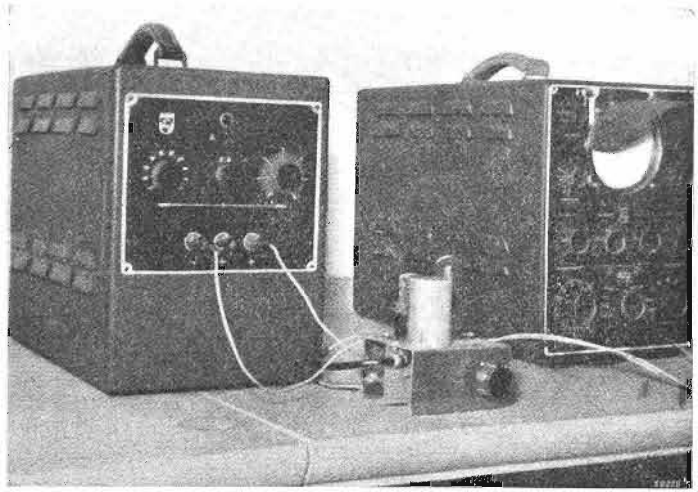
Esperienza 67



Esperienza 67



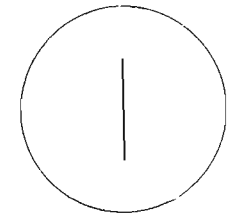
Esperienza 85



Esperienza 97

70

Misura della velocità.



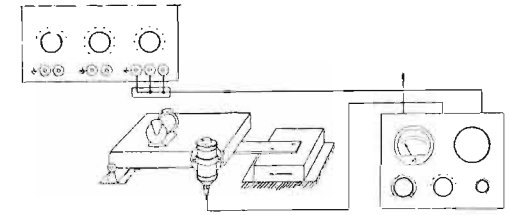
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Captatore dinamico di vibrazioni GM 5520.

Cassetta campioni di ampiezza GM 5521.

Banco di vibrazione con piccolo motore (vedi esperienza 68).

Per la misura della velocità, riferirsi alle istruzioni per l'uso.



71

Determinazione della frequenza di vibrazione propria di un'asta incastrata ad una estremità.

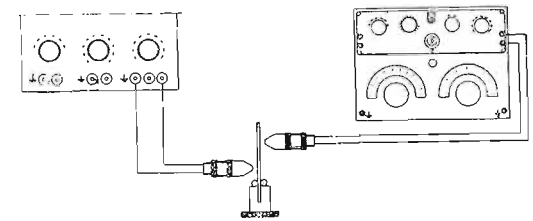
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Due captatori magnetici di vibrazioni GM 5727.

Generatore B F. GM 2307.

Asta di acciaio.

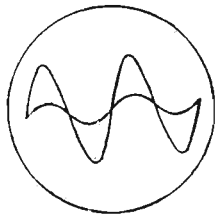
Per una certa frequenza del gene-



ratore B.F. si osserva sullo schermo un massimo di deviazione. In questo momento, il generatore indica la frequenza di vibrazione propria dell'asta.

72

Produzione di nodi e ventri in un'asta vibrante incastrata ad una estremità.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

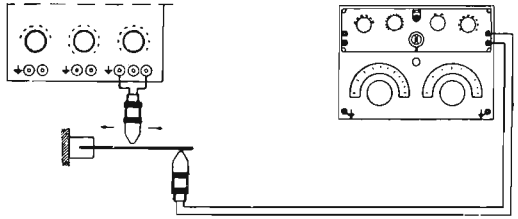
Due captatori magnetici di vibrazioni GM 5527.

Generatore B.F. GM 2307.

Asta di acciaio.

Col primo captatore, l'asta di acciaio viene posta in vibrazione sulle sue differenti armoniche.

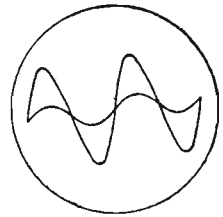
Col secondo captatore, si ricerca la posizione dei nodi.



73

Produzione di nodi e di ventri in un'asta vibrante poggiante su due appoggi.

Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.



Due captatori magnetici di vibrazioni GM 5527.

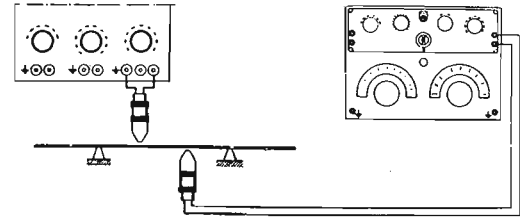
Generatore B. F. GM 2307.

Asta di acciaio.

Due pezzi di caucciù.

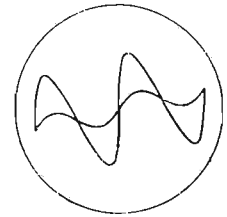
Col primo captatore l'asta di acciaio viene posta in vibrazione sulle sue diverse armoniche.

Con il secondo captatore si ricercano i nodi ed i ventri.



74

Studio delle vibrazioni di piastre piane (figure di Chladni).



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

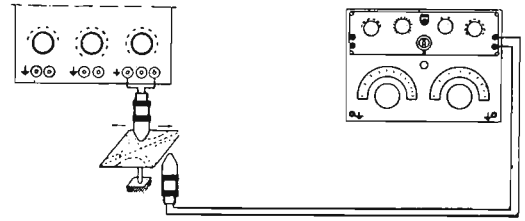
Due captatori magnetici di vibrazioni GM 5527.

Generatore B. F. GM 2307.

Pezzo di piastra di acciaio.

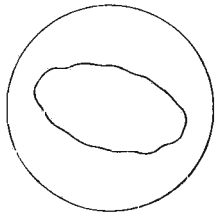
Col primo captatore si mette la piastra in vibrazioni e col secondo si ricercano le linee nodali.

Cospargendo la piastra di sabbia fine si possono far anche apparire queste linee nodali. Smorzando la piastra in differenti posti, si possono spostare le linee nodali.



75

Misura della frequenza di vibrazione.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

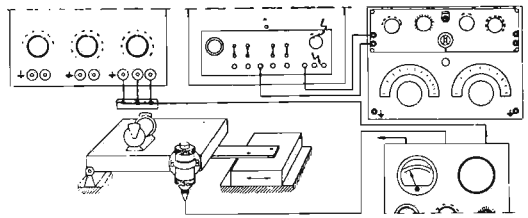
Captatore dinamico di vibrazioni GM 5520.

Campionario di ampiezze G M 5521.

Generatore B.F. GM 2307.

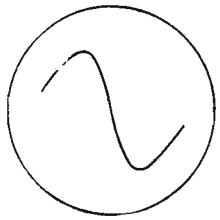
Banco di vibrazione con piccolo motore (vedi esperienza 68).

Regolare il generatore in modo tale da ottenere sullo schermo una curva a forma di ellisse. In questo momento, la frequenza del generatore è uguale a quella dell'oggetto in vibrazione.



76

Misura della frequenza di vibrazione.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

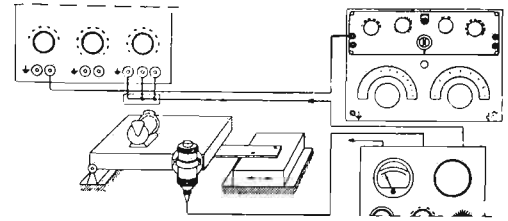
Captatore dinamico di vibrazioni GM 5520.

Cassetta campionario ampiezze GM 5521.

Generatore B.F. GM 2307.

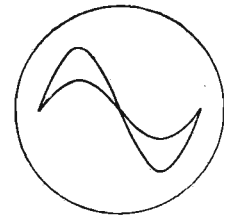
Banco di vibrazione con piccolo motore (vedi esperienza 68).

La frequenza della vibrazione è uguale alla frequenza del generatore divisa per il numero dei punti luminosi di cui si compone la figura.



77

Eliminazione delle perturbazioni di vibrazioni mediante l'impiego di caucciù o di sughero come materiali ammortizzanti.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

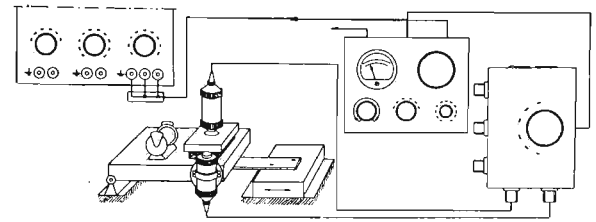
Captatore dinamico di vibrazioni GM 5520.

Cassetta campionario ampiezze GM 5521.

Eventualmente, captatore dinamico di vibrazioni supplementare GM 5520 e cassetta di commutazione GM 5525.

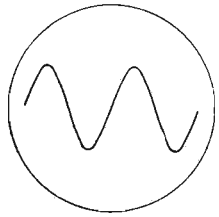
Banco di vibrazione con piccolo motore (vedere esperienza 68).

Qualche pezzo di caucciù e di sughero.

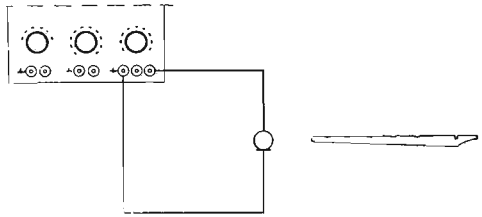


78

Immagine vibratoria di un suono di flauto.

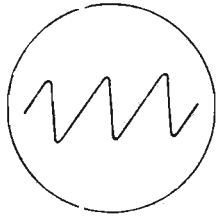


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Flauto.
Microfono.



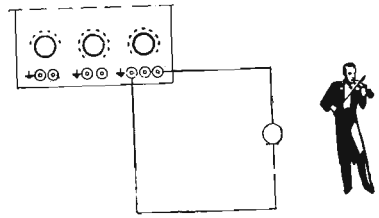
79

Immagine vibratoria di un suono di violino.



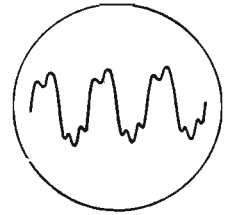
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Violino.
Microfono.

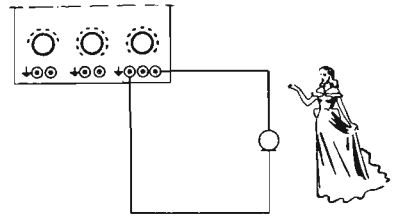


80

Immagine vibratoria di una vocale.

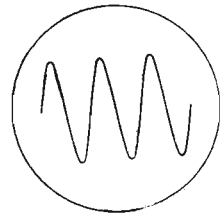


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Microfono.

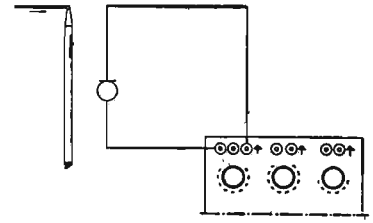


81

Nodi e ventri in una canna d'organo.



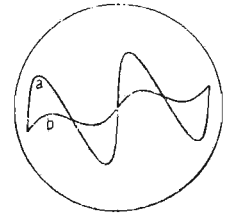
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Tubo d'organo da dimostrazione con fori chiusi mediante membrana o dispositivi analoghi.
Microfono.



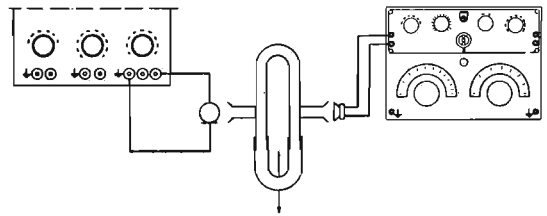
82

Affievolimento del suono (esperienza del tubo di Quincke).

a) amplificazione del suono,
b) affievolimento del suono.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Generatore e B.F. GM 2307.
Piccolo altoparlante.
Microfono.
Tubo di Quincke.

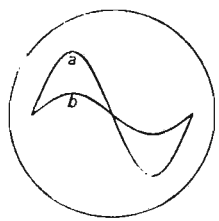


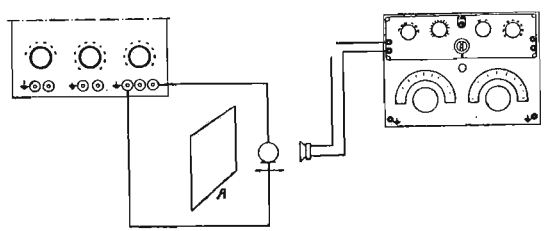
83

Onde stazionarie in aria.

a) ventre,
b) nodo.

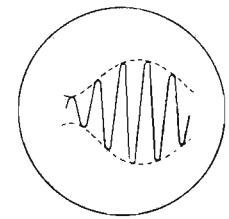
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Generatore B.F. GM 2307.
Alto parlante.
Microfono.
Parete riflettente A.





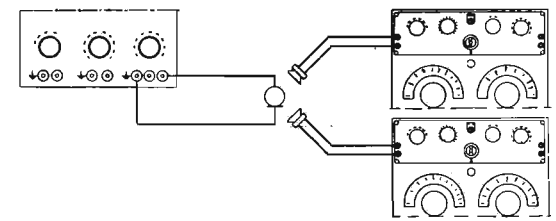
84

Battimenti sonori.



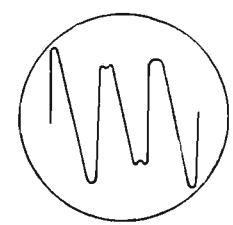
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Due generatori B.F. GM 2307.
Due altoparlanti.
Microfono.

Regolare i generatori sulla stessa frequenza; l'imprecisione della regolazione è sufficiente per provocare dei battimenti.

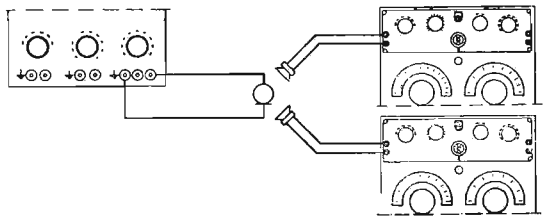


85

Consonanza.
Insieme di due vibrazioni sonore le cui frequenze stanno nel rapporto di due numeri interi minori di 7 (3 :4).



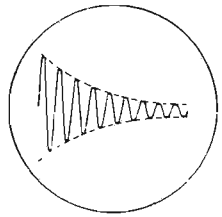
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Due generatori B.F. GM 2307.
Due alto parlanti.
Microfono.

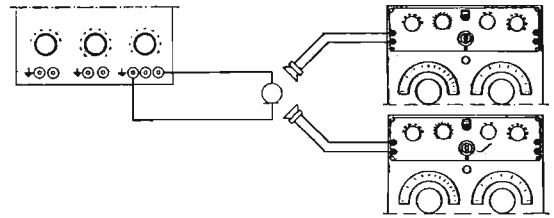


86

Dissonanza. Insieme di due vibrazioni sonore le cui frequenze stanno nel rapporto di due numeri interi maggiori di 7 (8 :9).

Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Due generatori B.F. GM 2307.
Due altoparlanti.
Microfono.

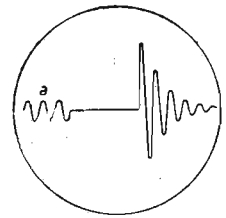




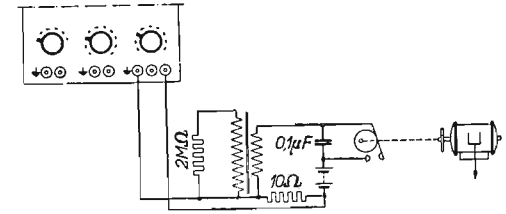
87

Tensione dell'avvolgimento secondario di una bobina d'accensione. La vibrazione può essere dovuta ad un rimbalzo del ruttore.

Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

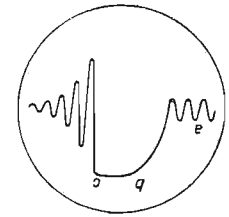


Bobina d'accensione.
Accumulatore da 6 V.
Ruttore.
Resistenza elevata, 2 Megaohms.
Motore sincrono con eccentrico.
Per il motore vedi esperienza n. 7.
Resistenza 1000 Ohms.
Condensatore da 0,1 μF.

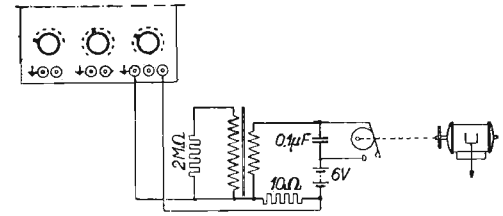


88

Corrente nell'avvolgimento primario di una bobina d'accensione. Funzionamento normale.
Fra b e c si raggiunge la saturazione.

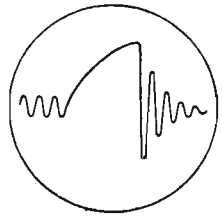


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Bobina d'accensione.
Accumulatore da 6 V.
Ruttore.
Resistenza elevata, 2 Megaohms.
Resistenza di circa 10 Ohms.
Motore con eccentrico.
Per il motore vedi esperienza n. 7.
Condensatore da 0 1 μF.

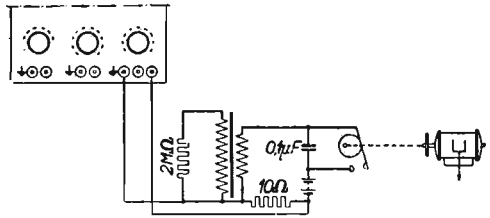


89

Corrente nell'avvolgimento primario di una bobina d'accensione per una velocità di rotazione elevata.
La saturazione non viene raggiunta.

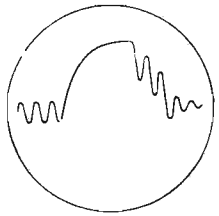


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Bobina d'accensione.
Accumulatore da 6 V.
Ruttore.
Resistenza elevata, 2 Megaohms.
Resistenza di circa 10 Ohms.
Motore a velocità di rotazione elevata (circa 3000 giri/min.).
Condensatore da 0,1 μF.

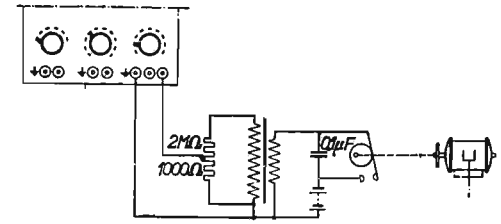


90

Corrente nell'avvolgimento primario di una bobina d'accensione quando il condensatore è « claqué ».

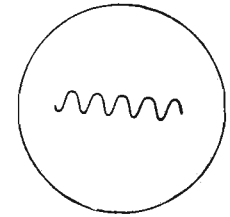


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Bobina d'accensione.
Accumulatore da 6 V.
Ruttore.
Resistenza elevata, 2 Megaohms.
Resistenza di circa 10 Ohms.
Motore con eccentrico. Per il motore vedere esperienza n. 7.
Condensatore da 0,1 μF.

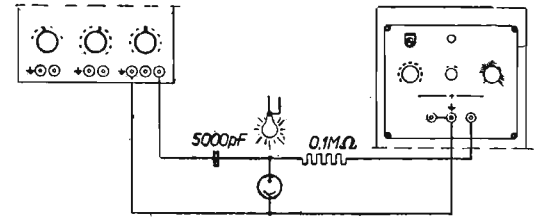


91

Fluttuazioni dell'intensità luminosa di una lampada ad incandeescenza. Frequenza: due volte la frequenza della rete; vedi anche 97.

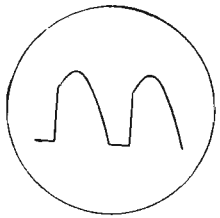


Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.
Resistenza R di circa 0,1 Megahoms.
Alimentazione stabilizzata G M 4560.
Lampada ad incandescenza da 15 W.
Cellula fotoelettrica tipo 3533.
Condensatore di circa 5000 pF.



92

Fluttuazioni dell'intensità luminosa di una lampada al neon. Frequenza: due volte la frequenza della rete; vedi anche 97.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Alimentazione stabilizzata G M 4560.

Resistenza di circa 0,1 Megahoms.

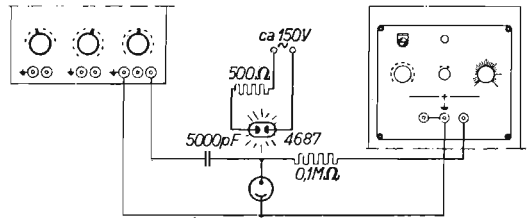
Resistenza di circa 500 Ohms.

Lampada al neon 4687.

Cellula fotoelettrica tipo 3533.

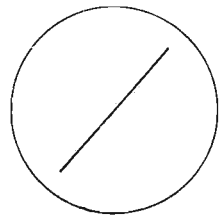
Condensatore 5000 pF.

Se la tensione della rete è di 220 V invece di 150 V, sostituire la resistenza in serie di 500 Oms con una di circa 5000 Oms.



93

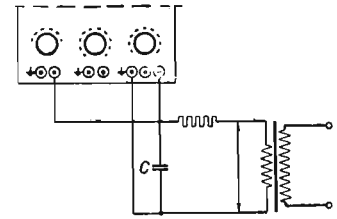
Due vibrazioni della stessa frequenza in fase.



Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

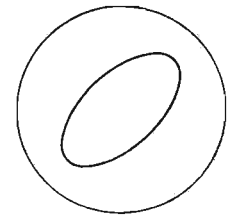
Trasformatore secondario circa 50 V.

Se la tensione della rete contiene numerose armoniche, queste si possono attenuare shuntando il secondario con un condensatore di circa 1 μF.



94

Due vibrazioni della stessa frequenza sfasate.



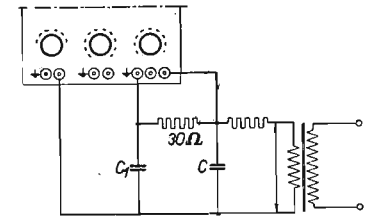
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Trasformatore secondario circa 50 V.

Condensatore C_1 di circa 1 μF.

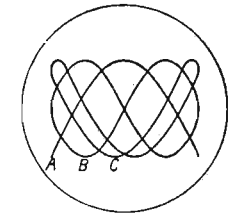
Resistenza di circa 30 Ohms.

Per le armoniche, vedere l'osservazione dell'esperienza 93.



95

Due vibrazioni le cui frequenze stanno nel rapporto 2 : 1.



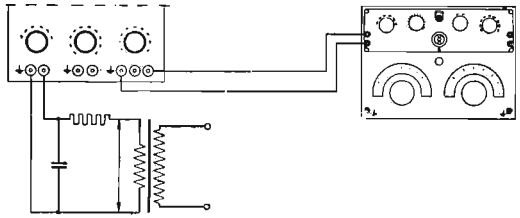
Oscillografo a raggi elettronici GM 3156.

Generatore B.F. GM 2307.

Trasformatore secondario circa 50 V.

Per le armoniche vedere la nota dell'esperienza 93.

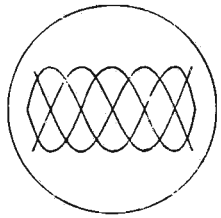
Poichè il rapporto delle frequenze differirà sempre leggermente da 2 : 1, la forma della figura si modificherà lentamente secondo A, B, C.

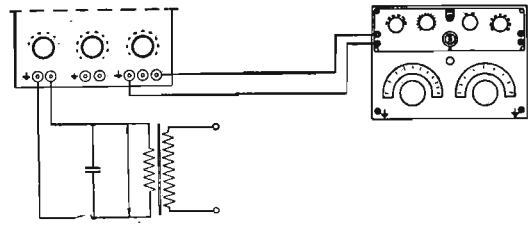


96

Due vibrazioni le cui frequenze stanno nel rapporto 3 : 1.

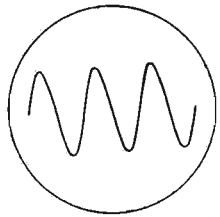
Come al 95.





97

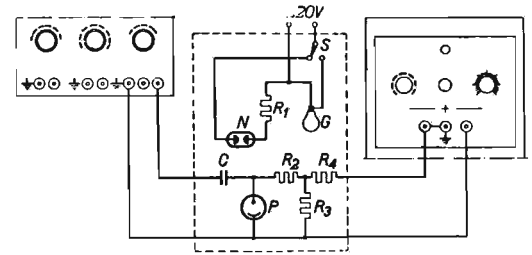
Corrente in una lampada al neon ed in una lampada ad incandescenza.



Quando si mette in circuito una lampada ad incandescenza, si vede apparire sullo schermo dell'oscillografo una sinusoide. Se si commuta nella lampada al neon (mediante S), si vede apparire sullo schermo la caratteristica di corrente di questa lampada.

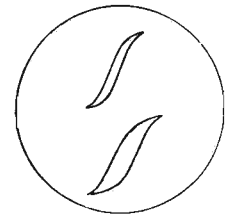
Vedere anche gli oscillogrammi 91 e 92.

P = cellula fotoelettrica 3533.
N = lampada al neon 4687.
G = lampada ad incandescenza 220 V, 15 W.
R_1 = 3000-5000 Ohms, 5 W.
R_2 = 1 Megahoms.
R_3 = 0,1 Megaohm.
R_4 = 0,1 Megaohm.
C = 5000 pF.
S = Commutatore.



98

Comparazione della qualità di lamierini per trasformatori.



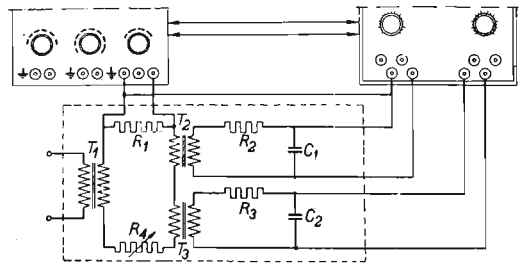
Uno dei trasformatori (T_2) possiede un nucleo di qualità standard, l'altro (T_3) ha un nucleo di qualità meno buona.

La superficie del ciclo d'interessi è un indice delle perdite totali nel ferro del trasformatore. Perciò, supponendo che le dimensioni del nucleo ed il numero di spire siano uguali, la curva di (T_2) risulterà più piccola di quella di (T_3). Il commutatore elettronico consente di ottenere simultaneamente sullo schermo i due cicli di isteresi, e ciò permette di confrontare le qualità dei trasformatori.

R_4 permette di regolare le dimensioni dell'immagine.

T_1 è utilizzato soltanto come trasformatore di separazione, per evitare un corto circuito tra i capi di terra nell'oscillografo e la fase della rete che non è messa a terra. Se si utilizza il GM 3156 la uscita dell'am-

plificatore verticale deve essere riunita al capo diretto per la deviazione orizzontale. Ciò può essere effettuato sul pannello di commutazione sul retro del GM 3156.

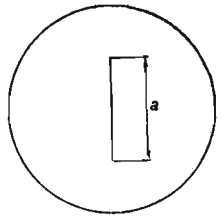


R_1 = 1 Ohm.
R_2 = 50.000 Ohms.
R_3 = 50.000 Ohms.
R_4 = circa 100 Ohms variabili.
C_1 = 8 μF.
C_2 = 8 μF.

T_1 = Trasformatore di separazione 1 : 1.
T_2 = Trasformatore 1 : 1.
T_3 = Trasformatore 1 : 1.
GM 3156 (GM 3159).
GM 4580.

99

Misura dinamica delle elongazioni.



In un blocco di ferro tondo P è incastrata una lamina di molla S. Su questa molla è fissato un gioco a contrasto (attivo) e nel blocco è fissato un gioco di compensazione (Dummy).

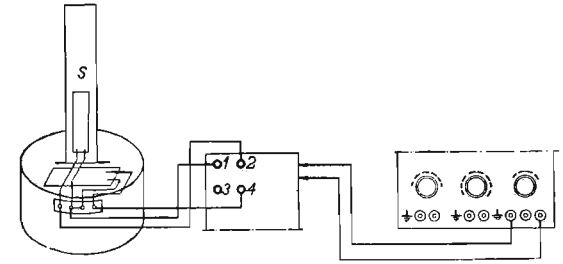
Con le due resistenze del ponte di misura GM 8001 i due giochi formano un ponte di Wheaststone che è unito all'oscillografo GM 3156.

Quando la molla è messa in vibrazione, la lunghezza (a) nello schermo è una misura dell'elongazione o della compressione massima che subiscono il gioco a contrasto e la molla.

Per questa esperienza la base dei tempi è posta fuori il circuito.

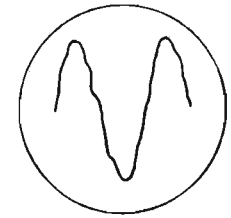
P = blocco di ferro ∅ 80 mm. circa.
A = gioco a contrasto (attivo).
B = gioco dummy.

S = lamina di molla:
lunghezza circa 200 mm.,
larghezza circa 15 mm.,
spessore 1 ÷ 1,5 mm.



100

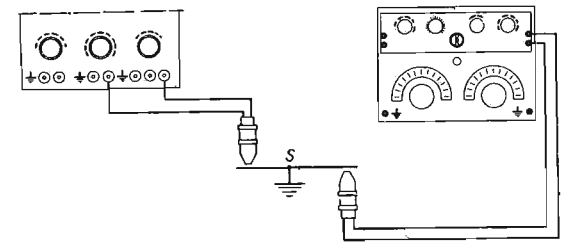
Studio di vibrazioni.

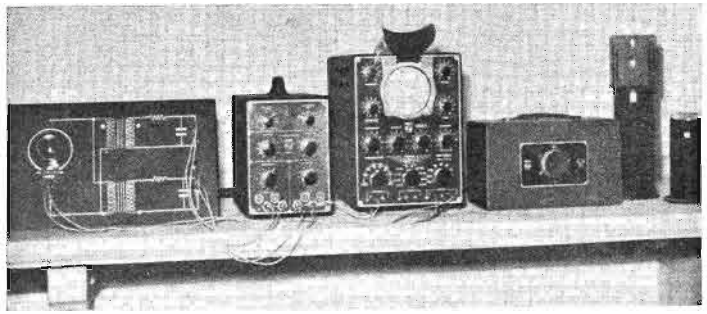


Una piastra di ferro S di 200 × × 200 × 3 m. è fissata orizzontalmente per il suo centro su un'asta sostenuta da un piede. Sotto la piastra orizzontale è fissato un pick-up GM 5527 il quale alimenta un GM 2307.

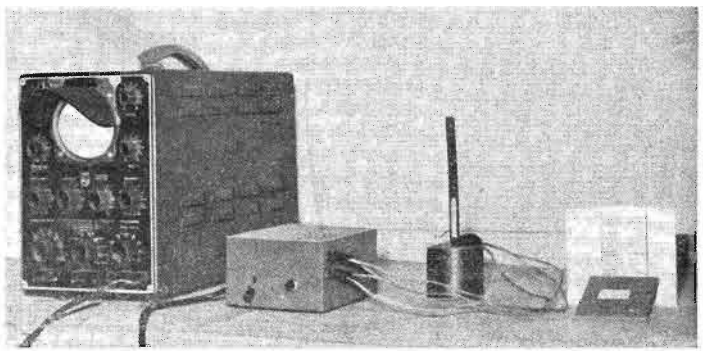
Il pick-up montato al disopra della piastra è collegato all'amplificatore verticale dell'oscillografo.

Il braccio al quale è fissato il pick-up superiore può ruotare, così che è possibile portare il pick-up al disopra

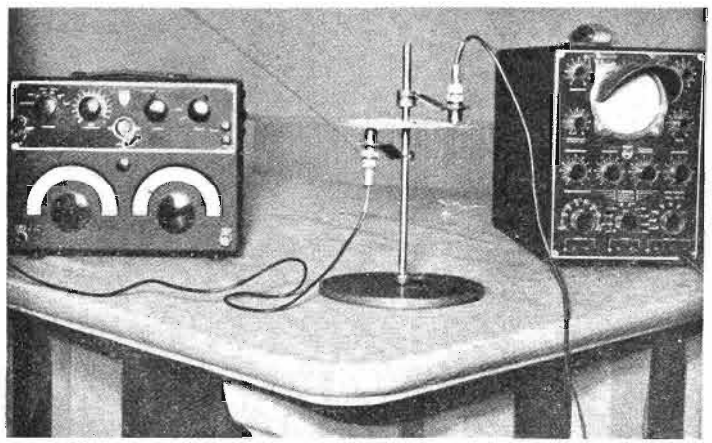




Esperienza 98



Esperienza 99



Esperienza 100

di qualunque punto della piastra. Si possono anche misurare in qualunque punto le vibrazioni comunicate alla piastra dal pick-up inferiore.

Se si spande sulla piastra della sabbia fine, si ottengono delle figure di Chladni secondo la risonanza propria della piastra.

La sabbia si raduna sulle linee nodali che in anticipo possono essere state individuate col pick up.

APPLICAZIONI PRATICHE DEL COMMUTATORE ELETTRONICO

L'esempio più corrente d'applicazione pratica del commuttatore elettronico è di mostrare la sfasatura esistente fra una corrente ed una tensione. Ciò è riprodotto in figura 1.

Noi vediamo i fenomeni seguenti: l'ampiezza della corrente e della

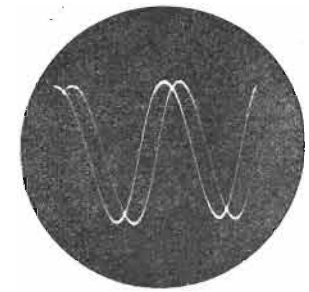


Fig. 1

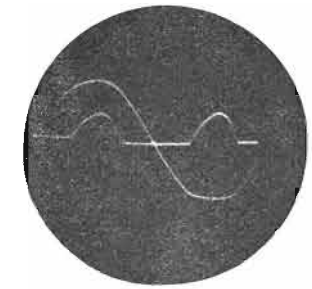


Fig. 2

tensione è stata regolata allo stesso valore. La frequenza della corrente corrispondente alla tensione è evidentemente la stessa come chiaramente si vede sulla figura. Infine non esiste differenza di forma fra la corrente e la tensione.

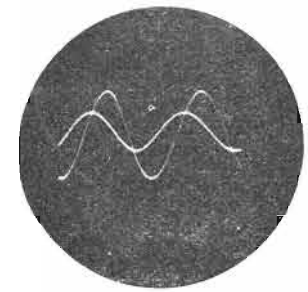


Fig. 3

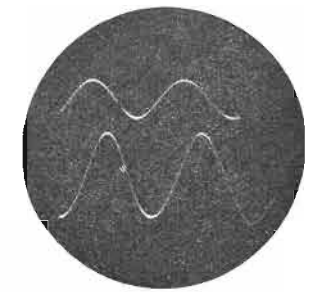


Fig. 4

Per contro, la figura 2 mostra una differenza considerevole fra la ten-

sione che differisce da una perfetta sinusoide, e la corrente che non soltanto differisce da una sinusoide, ma è inoltre raddrizzata.

Questa figura riproduce la tensione secondaria di un trasformatore di linea di un ricettore.

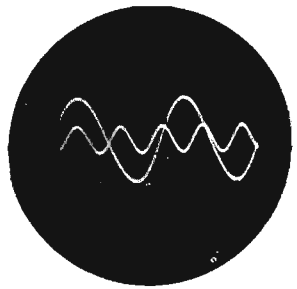


Fig. 5

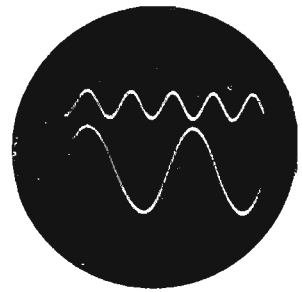


Fig. 6

Come si sa, la corrente secondaria di un tal trasformatore subisce un raddrizzamento bifasato, ciò che chiaramente si vede in figura.

In base alla forma della corrente, si può inoltre dedurre che la corrente

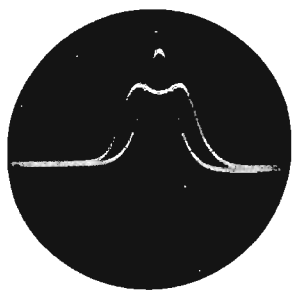


Fig. 7

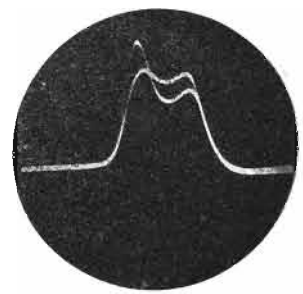


Fig. 8

di carica del condensatore di filtro non circola che durante una frazione di periodo.

Nel caso di un anticipo della corrente rispetto alla tensione, la cresta di corrente appare sullo schermo a sinistra della cresta di tensione; ciò è riprodotto in figura 3.

Si vede qui che l'ampiezza della tensione è maggiore di quella della corrente.

In alcuni casi, può essere comodo di non far coincidere gli assi dei due fenomeni, ma di spostarli di una certa quantità. Per le stesse correnti e tensioni riportate in figura 3, si ottiene allora la figura 4. Questo metodo è soprattutto vantaggioso quando a fianco di certi fenomeni si vuole avere una tensione alternativa di frequenze superiore per l'indicazione del tempo.

La figura ottenuta facendo coincidere i due assi è riprodotta in figura 5. Si vede che il fenomeno coincide in alcuni punti con l'indicazione del tempo; ciò che in certe circostanze può essere fastidioso.

Spostando i due assi si ottiene un'immagine come in figura 6.

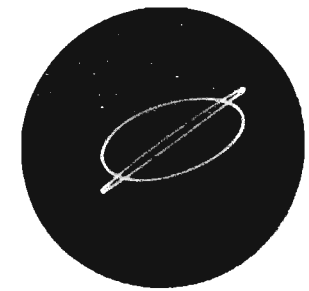


Fig. 9

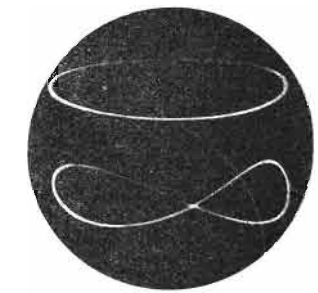


Fig. 10

Nei due casi si constata che per l'indicazione del tempo è sufficiente una piccolissima ampiezza. Una applicazione particolare del commutatore elettronico è riprodotta in figura 7.

Si riproducono simultaneamente sullo schermo le curve di selettività di due ricevitori analoghi. La selettività variabile di uno dei ricevitori è stata regolata sullo « stretto » cioè sul massimo della selettività, mentre il secondo ricevitore è stato regolato sul « largo ».

La figura 8 mostra un'altra applicazione nello stesso campo, le curve di selettività di due apparecchi aventi la stessa larghezza; si vede che i circuiti M.F. di un apparecchio sono buoni mentre quelli dell'altro sono mal regolati.

Il commutatore elettronico permette inoltre di osservare la sfasatura di due tensioni sinusoidali differenti da una terza tensione sinusoidale. In que-

sto caso, la base dei tempi lineare è sostituita da una tensione sinusoidale. Se noi supponiamo che una delle tensioni da studiare presenti una leggera sfasatura rispetto alla tensione applicata orizzontalmente, si ottiene un'ellisse come indicato in figura 9.

Da questa figura si deduce anche che la frequenza delle due tensioni è la stessa. In questo caso era di 50 p/s. Una seconda tensione alternativa, di frequenza pure di 50 p/s, ma che presenta una sfasatura maggiore, dà luogo ad una ellisse più ampia.

Su questa figura i due assi coincidono. Sulla figura 10 invece, gli assi sono spostati. Per una base dei tempi sinusoidale di 1000 periodi al secondo, l'immagine superiore corrisponde ad un segnale di 1000 p/s che presenta una piccola sfasatura.

L'immagine inferiore a forma di 8 corrisponde ad una tensione sinusoidale di 2000 p/s con la stessa base dei tempi di 1000 p/s.

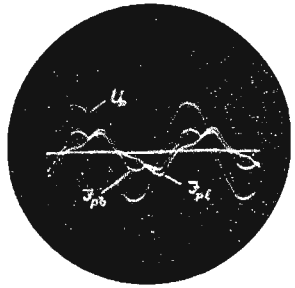


Fig. 11

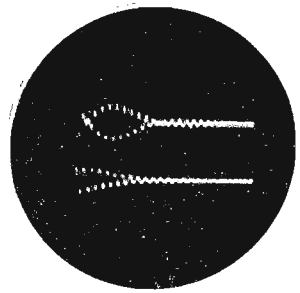


Fig. 12

Se la periodicità di un dato fenomeno corrisponde alla frequenza della rete, la base dei tempi sarà di preferenza sincronizzata direttamente dalla frequenza della rete. Se il fenomeno da studiare è fotografato, si può, grazie a questa sincronizzazione fissa e ben definita, prendere due foto sullo stesso negativo. Se l'apparecchio non è stato spostato, gli assi delle foto coincidono come lo mostra la fig. 11 in cui la prima foto corrisponde alla corrente primaria a vuoto di un trasformatore. La seconda foto corrisponde alla corrente primaria di carica, mentre si è soppressa la tensione per fotografare l'asse dei tempi che corrisponde all'asse comune.

Infine la figura 12 rappresenta le tensioni primaria e secondaria di un trasformatore M.F. accordato su 128 kc/s. Questo trasformatore è eccitato periodicamente. È chiaro che per quest'ultima applicazione a frequenza elevata, bisogna prendere delle precauzioni particolari per evitare accoppiamenti parassiti, ecc.

Gli esempi precedenti mostrano chiaramente che il commutatore elettronico permette di aumentare considerevolmente il campo di applicazione dell'oscillografo a raggi elettronici, in modo che questo commutatore costituisce un prezioso ausiliario in ogni apparecchiatura di misura elettrica.

FINITO DI STAMPARE PER I TIPI DELLA VARESINA GRAFICA IN VARESE NEL GIUGNO 1955, PER ORDINE E CONTO DELLE EDIZIONI DI SCIENZE E ARTI - LIBRERIA CORTICELLI, IN MILANO

L. 800